

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Optimalizace varného prostoru konvektomatu

Optimization of a Cooking Space in Combi Ovens

Student:

Bc. Machálek Tomáš

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Fries. Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Machálek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: **Optimalizace varného prostoru konvektomatu**
Optimization of a Cooking Space in Combi Ovens
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce zpracujte rešerši dané problematiky. Dále zpracujte obecný popis současného stavu, analýzu předmětného problému a návrh řešení konstrukce ventilátoru uvnitř konvektomatu. Alokovaný ventilátor slouží k dosažení maximální rovnoměrnosti proudění teplého vzduchu ve varném prostoru. Proveďte potřebné pevnostní a napětíové analýzy ventilátoru a dalších konstrukčních uzlů. Pro navržené konstrukční řešení, zpracujte výkresovou dokumentaci v požadovaném rozsahu. Detailní specifikaci provozních, manipulačních a dalších parametrů určí zadavatel práce – RETIGO s.r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

KHAVKIN, Y. *Combustion system design*. Tulsa : PennWell, c1996 - xxviii, 246 s. : il. ISBN 0-87814-462-5 (váz.)
JEŘÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1. vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
BOLEK, A. a kol. *Části strojů*. Praha: SNTL Praha, 1990.
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: ČNI, srpen 1996. 32s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2016

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2016

.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Tomáš Machálek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Horní Bečva 51

756 57

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MACHÁLEK, T. *Optimalizace varného prostoru konvektomatu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, fakulta strojní, katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 58s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá optimalizací varného prostoru v konvektomatu konkrétně ventilátoru. Úvodní část popisuje co je to konvektomat, a kde se používá. Dále je zpracována obecná rešerše o ventilátorech a podrobný popis varného prostoru. Práce obsahuje 3D model ventilátoru vytvořený v programu CREO. Výpočtová část byla provedena v programu ANSYS. Součástí diplomové práce je kompletní výkresová dokumentace.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

MACHÁLEK, T. *Optimization of a Cooking Space in Combi Ovens: Diploma thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2016, 58p. Thesis head: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

This master's thesis deals with the Optimization of a Cooking Space in Combi Ovens specifically the fan. The first part describes what a Combi oven is and where people use it. In the second part there is a detailed description parts including the fan and cooking space. This thesis includes a 3D model of the fan which was made in CREO software. Simulation was done in ANSYS software. This master's thesis contains complete technical documentation.

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Jiřímu Friesovi, Ph.D. a vedoucímu vývoje firmy Retigo Ing. Rumenu Rusevovi za věcné připomínky a čas, který mi při zpracovávání diplomové práce věnovali. V neposlední řadě patří dík firmě Retigo s.r.o., která mi umožnila vypracovat tuto diplomovou práci.

Seznam použitých veličin:

D_S	střední průměr stykové plochy matice a podložky	[mm]
F_0	předepjatá osová síla šroubu	[N]
K	kuželovitost hřídele	[-]
M_k	točivý moment elektromotoru	[N·m]
M_T	třecí moment mezi kuželovým spojením	[N·m]
M_U	utahovací moment pro šroub	[N·m]
P_{DOV}	maximální měrný tlak v náboji	[MPa]
$P_{el.}$	výkon elektromotoru	[kW]
P_h	stoupání závitu	[mm]
d	vnější průměr závitu šroubu	[mm]
d_2	střední průměr závitu šroubu	[mm]
d_3	průměr jádra závitu	[mm]
d_{k1}	nejmenší průměr kuželové hřídele	[mm]
d_{k2}	největší průměr kuželové hřídele	[mm]
d_D	vnitřní průměr podložky	[mm]
d_s	střední průměr kuželového náboje	[mm]
f	koeficient tření pro nerezovou ocel	[-]
f_z	součinitel smykového tření na závitu	[-]
k	koeficient bezpečnosti prokluzu	[-]
l	délka kuželového náboje	[mm]
n	otáčky elektromotoru	[ot·min ⁻¹]
p	měrný tlak v náboji	[MPa]
s_k	velikost utahovacího klíče	[mm]

α	vrcholový úhel metrického závitu	[°]
β	úhel sklonu náboje	[°]
φ	třecí úhel závitu	[°]
ψ	úhel stoupání závitu	[°]

Obsah

Seznam použitých veličin:	7
Úvod.....	10
1 Konvektomaty	11
1.1 Rozdělení konvektomatů	12
2 Ventilátory.....	14
2.1 Základní typy rozdělení	14
3 Schéma varného prostoru konvektomatu	21
3.1 Hlavní prvky varné komory.....	21
3.2 Funkční prvky varné komory	26
4 Problematika	Chyba! Záložka není definována.
5 Návrh ventilátoru	29
6 Kontrolní výpočty	32
6.1 Výpočet sevření na kuželové ploše:	32
6.2 Výpočet deformace ventilátoru MKP	39
6.3 Výpočet modální analýzy v MKP	41
7 Závěr	55
8 Seznam použité literatury:.....	56
9 Seznam použitých obrázků:	57
10 Seznam tabulek	58
11 Seznam grafů:.....	58
12 Seznam příloh:	58

Úvod

Konvektomat je strojní zařízení používáno v gastronomii, se kterým člověk přichází do nepřímého styku téměř každý den, aniž by si to uvědomoval. Pokud si dáte nějaký pokrm ať v restauraci, či v menze, tak všude tam, kde se produkují jídla ve větším množství, tak Vám mohu zaručit, že příprava pokrmu probíhá v konvektomatu. Konvektomat obsahuje mnoho součástí a jedna z nich je i ventilátor, který se stará o dopravu vzdušin v pracovním prostoru, a právě optimalizací této konstrukce se budu zabývat.

1 Konvektomaty

Jsou to gastronomické zařízení, které spolu s holdomaty, pekařskými pecemi, regenerátory a šokovými chladiči tvoří základ moderního vybavení kuchyně v restauracích, menzách, či jiných prostorech, kde hlavní náplní je úprava a zpracování potravin. Použití toho to stroje se vyplatí při přípravě více, jak 30 porcí denně viz stroj obr. 1. Větší typy jsou schopné uvařit až 900 porcí.

Správným používáním stroje je mašina schopna ušetřit až 75 % vody a 25 % elektrické energie, oproti používání běžných technologií. Spotřeba tuku se v konvektomatu snižuje až o 2/3, protože pro smažení, grilování, či pečení se spotřebuje úplné minimum.



Obr. 1 Konvektomat Retigo velikosti 611 [1]

Konvektomaty fungují na principu využití vodní páry a horkého vzduchu. Tato média se používají buď odděleně, anebo se kombinují. Záleží na tom, co kuchař chystá připravovat. Například horký vzduch se používá místo tradičních úprav, jako je pečení v troubě, grilování, smažení, zapékání. Pára je ekvivalentem pro vaření ve vodě a kombinovaný režim se používá tam, kde potřebujeme nejen horký vzduch, ale i vlhkost.

1.1 Rozdělení konvektomatů podle velikosti

Další rozhodující faktor je velikost zařízení, tyto stroje jsou vyráběny v 6 různých velikostech obr. 2 a 2 základních typech. Existuje spousta dalších doplňujících konfigurací, které si zákazník při objednání stroje navolí.



Obr. 2 Velikostní řady konvektomatů [3]

Důležitým faktorem na ekonomičnost provozu je, zdali použijete stroj na elektřinu. V tom případě je důležitá přípojka na 380V. Nebo plyn, kde stačí elektrická přípojka na 220V. Protože zařízení je opatřeno spalovací komorou, která je napojena na výměník a ten ohřívá varný prostor.

1.2 Rozdělení konvektomatů podle způsobu vývinu páry

Konvektomaty se nejvíce rozlišují ve způsobu vývinu páry v pracovním prostoru, kterou je možno vytvářet dvěma metodami a to pomocí bojleru, či nástříku. Tento aspekt má dopad jak na přípravu pokrmu tak na energetičnost zařízení.

Bojlerové:

Tento typ strojů vyvíjí páru mimo varný prostor v bojleru, kde je topná spirála, která svým působením zahřívá vodu a ta se mění v páru. Následné přivedení do pracovního prostoru je ovládáno klapkou.

Výhoda toho to systému je, že jsme během krátké chvíle schopni naplnit prostor opět parou a pokračovat v úpravě jídel. Tudíž tento systém upřednostňují restaurace, kde dochází k častějšímu otevírání konvektomatu.

Nevýhoda spočívá ve větším počtu součástek na ovládání toho to mechanismu a větší pravděpodobnost poruchy.

Nástřikové:

Konvektomaty s nástřikovým způsobem vývinu páry jsou odlišné v tom, že k vývinu páry dochází přímo v pracovním prostoru. Kolem ventilátoru je topná spirála a na jeho střed je přiváděna voda pomocí nástřikové trubky. Ventilátor vodu rozprašuje a ta se během rozstřiku díky topné spirále přemění na páru.

Výhoda toho to systému je, že jeho jednoduchá konstrukce a princip vývinu páry zaručuje téměř 100% spolehlivost. Energičtější metoda.

Nevýhoda opětovné zahřívání varného prostoru při každém otevření dveří. To způsobuje zvýšení spotřeby energie. Ten to způsob upřednostňují závodní jídelny.

Největší potíže při pečení způsobuje samotný ventilátor, který je zatížen teplotními šoky, jelikož dochází k prudkým změnám teploty. Tento proces probíhá po skončení tepelných úprav jídla, kdy může být v prostoru až 300 °C a následuje program automatického mytí a teplotní šok je až 250 °C. Dochází ke kroucení a změně tvaru. Další jeho nedostatek je nerovnoměrnost výtlaku v celkovém prostoru, z toho se odvíjí nerovnoměrnost pečení. Tlakové pole teplého vzduchu se reguluje pomocí zadní stěny, která je opatřena otvory. A směrem otáčení ventilátoru.

2 Ventilátory

Přesnou definicí, co je to ventilátor se vědci a konstruktéři, začali zabývat relativně pozdě, k mému překvapení to bylo až roku 1972, kdy byl vytvořen první dokument, jenž popisoval ventilátor a jeho komponenty. Ten nesl název Eurovent 1/1 a sepsala ho stejnojmenná firma. Později ho schválila mezinárodní organizace ISO a po drobnějších úpravách vznikla norma ISO 13348, kde zní definice ventilátoru tak to:

„Ventilátor je rotační lopatkový stroj přijímající mechanickou energii, kterou využívá jedno nebo více oběžných lopatkových kol k udržování kontinuálního proudu vzduchu nebo jiného plynu proudícího skrz tento stroj, a jehož práce vzatá na jednotku hmotnosti nepřesahuje 25 kJ/kg.“ [4]

Člověku nevzdělanému v tomto oboru se bude jevit tato definice nic neříkající. A tak ji parafrázuji do snadnější podoby.

Jsou to strojní zařízení sloužící ke kontinuální dopravě a stlačování vzdušin při malých kompresních poměrech.

Můžeme je zařadit mezi stroje rotační lopatkové. Uvnitř ventilátoru dochází ke změně energie a to mechanická energie se přeměňuje na energii tepelnou, jež je předána stlačované vzdušině. Jeho poměr stlačení je poměrně nízký cca. 1.01 až 1.1 zřídka až 1.3 u vícestupňových ventilátorů zcela výjimečně až 1.5. Takže se budeme spíše bavit o dopravě vzdušin, než o jejich stlačování.

Ventilátor obsahuje tyto základní prvky motor, složený z rotoru a statoru.

2.1 Základní typy a rozdělení

Ventilátory je možno rozdělit podle několika hledisek

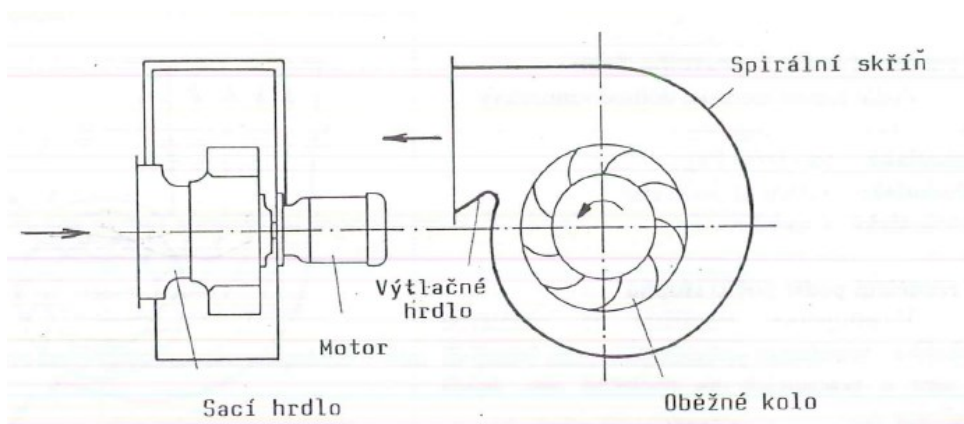
Podle směru průtoku vzdušiny oběžným kolem:

- Radiální ventilátory
- Axiální ventilátory
- Diagonální ventilátory
- Diametrální ventilátory
- Tangenciální ventilátor

Radiální ventilátory:

Skládá se z oběžného kola, jehož součástí jsou lopatky, zajišťující nasávání vzdušiny v axiálním směru a výtlač ve směru kolmém na osu rotace znázorněno na obrázku 3. Dále pak putuje vzdušina do sacího hrdla, výtlačného hrdla a spirální skříně, která zajišťuje přeměnu kinetické energie vzdušiny na tlakovou. Podle směru zakončení lopatek oběžného kola se ventilátory dělí:

- dopředu zahnutými lopatkami
- radiálně zahnutými lopatkami
- dozadu zahnutými lopatkami



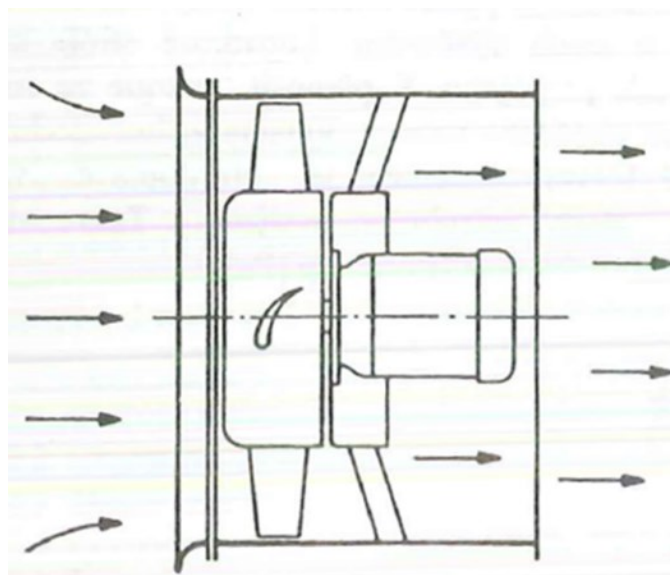
Obr. 3 Schéma radiálního ventilátoru [2]

Dopředně zahnuté lopatky jsou levnější, jednodušší na výrobu, ale taky vykazují nižší účinnost okolo 55 až 65 %. Oběžné kolo má 40-50 lopatek s konstantní šířkou. Ventilátory s dozadu zahnutými lopatkami mají účinnost 80-87 %. A vyrábějí se s menším počtem lopatek.

Axiální ventilátory:

U těchto ventilátorů je vzdušina vedena ve směru osy rotace oběžného kola znázorněno v obrázku 4. Používají se tam, kde není kladena velká náročnost na dopravní tlak, ale je požadován větší dopravní objem. Lze je rozdělit na:

- rovnotlaké
- přetlakové



Obr. 4 axiální ventilátor [2]

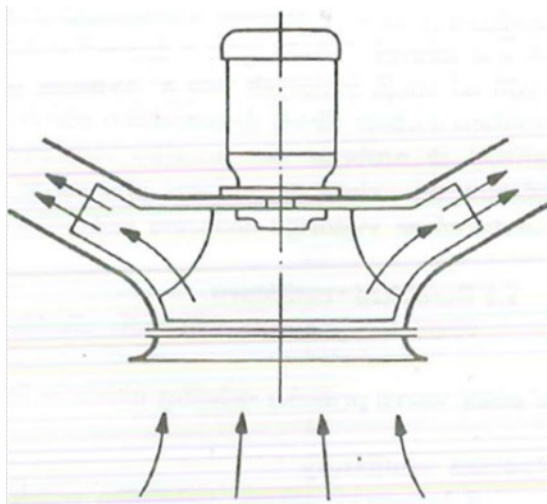
Rovnotlaké ventilátory udělí vzdušině pouze vyšší rychlost a tlak zůstává stejný, oproti přetlakovým ventilátorům, které mají statický tlak za oběžným kolem vyšší než před ním.

Typický příklad rovnotlakého axiálního ventilátoru je běžný pokojový ventilátor, nebo i podstropní ventilátor, který zajišťuje pouze pohyb vzdušin v místnosti.

Ventilátory vyšších výkonů bývají osazeny difusorem, který je nezbytný pro zvětšení průtoku vzdušiny. Difusor je pro vnitřní, nebo vnější použití.

Diagonální ventilátory

Jsou typem ventilátorů, které zajišťují přechod mezi radiálním a axiálním ventilátorem. Vtok vzduchu působí na ventilátor v axiálním směru více znázorněno na obrázku 5, což je ve středu osy rotace oběžného kola, ale vzduch nezmění směr proudění o 90° jak je tomu u radiálního ventilátoru. Ale o hodnotu menší než 90° .

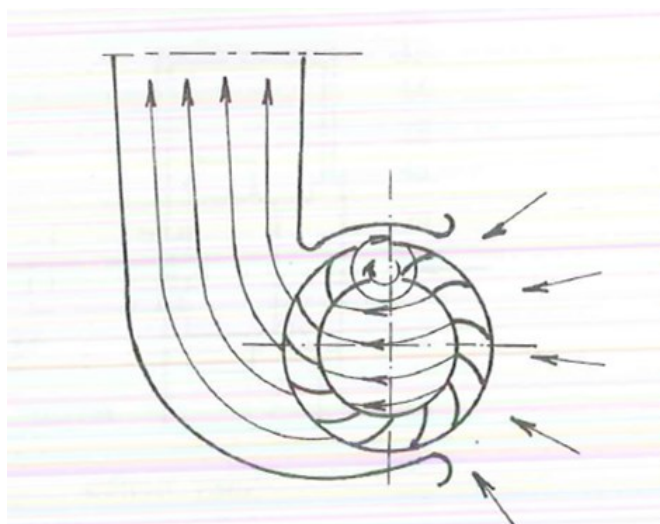


Obr. 5 Diametrální ventilátor [2]

Tyto ventilátory se používají hojně v automobilovém průmyslu, vzhledem k jejich optimálním zástavbovým parametrům.

Diametrální ventilátory

Princip je obdobný jako u Bankiho turbíny s tím rozdílem, že pracuje naopak, jde vidět na obrátku 6. Ventilátor nasává vzduch na vnějším obvodu oběžného kola přes sací hrdlo. Vzdušina projde příčně oběžným kolem, z kterého vystupuje na vnějším obvod a dále je vyfukována do výtlačného hrdla. Zjednodušeně se jedná o dvoustupňové urychlování dopravované látky, neboť vzduch prochází lopatkovou mříží dvakrát.



Obr. 6 Diametrální ventilátor [2]

Účinnost tohoto ventilátoru je 45-55%.

Na první pohled se může zdát, že se jedná o několika násobně prodloužený radiální ventilátor, ale funkční princip je odlišný. V tangenciálním ventilátoru vzduch prochází po lopatkách oběžného kola dvakrát. Nejdříve dovnitř a pak ven. Vzduch je nasáván plošně, tangenciálně a následně se jeho směr otočí o 90° (jelikož nasávání probíhá až polovinou oběžného kola, tak proto se jmenuje tangenciální). Vzduch je odváděn z ventilátoru úzkou štěrbinou, která je široká po celé délce oběžného kola.

Poháněcí motor je umístěn vždy mimo proud vzduchu.

Tento úzký a široký proud ohřátého vzduchu se využívá při sušení lokálních míst, či jako klimatizační jednotka v budovách.

Rozdělení podle dopravního tlaku:

- nízkotlaké (do 1000 Pa)
- středotlaké (1000 až 3000 Pa)
- vysokotlaké (nad 3000 Pa)

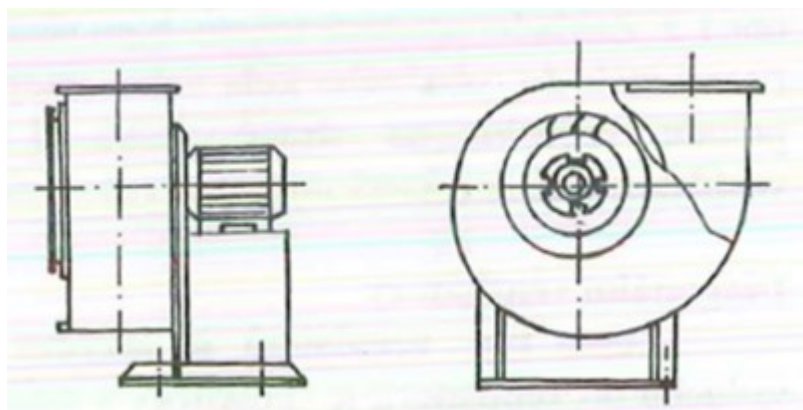
Rozdělení podle počtů stupňů:

- Jednostupňový
- Dvoustupňový (axiální, radiální a diametrální)
- Vícetupňový (ventilátor je tvořen soustavou několika jednostupňových ventilátorů zařazených v sérii a pracujících na jedné společné ose. Tento typ je vzácný)

Rozdělení podle přenosu mechanické energie:

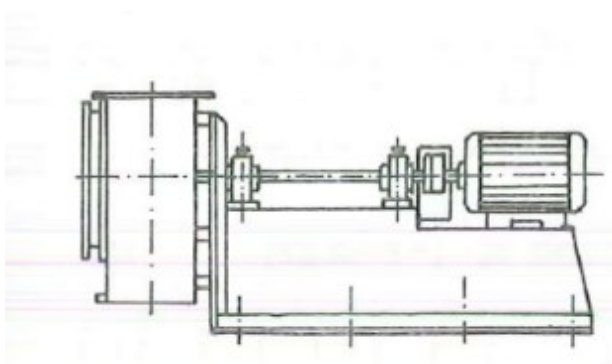
Zdrojem energie u všech ventilátorů je motor. Jeho krouticí moment se musí přenést na rotor ventilátoru.

- Napřímo - pokud je hřídel oběžného kola společná s rotorem motoru obr. 7



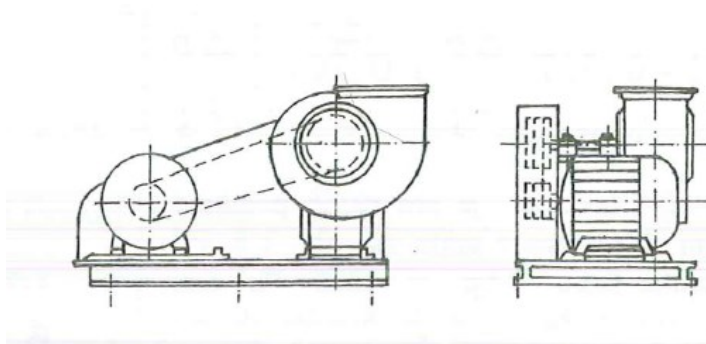
Obr. 7 Ventilátor s pohonem napřímo [2]

- Přes spojku obr. 8 – krouticí moment z rotoru je přenášén na oběžnou osu ventilátoru pomocí spojky, která umožní vyrovnnání nesouososti obou strojů a kontrolu proti přetížení



Obr. 8 Ventilátor s pohonem přes spojku [2]

- S převodem obr. 9 – k převedení krouticího momentu se použije řemenový převod.



Obr. 9 Ventilátor s pohonem přes řemen [2]

Podle pohonu:

V dnešní době se k pohonu ventilátorů využívají zejména asynchronní elektromotory. Například v dolech pneumatické a hydraulické motory a turbíny, které pracují se stačeným vzduchem. U mobilních stavebních strojů a dopravních prostředků se používají nejčastěji spalovací motory.

V aktuální problematice se budu zabývat řešením radiálního ventilátoru, na který jsou kladeny specifické požadavky.

3 Schéma varného prostoru konvektomatu

Varný prostor konvektomatu obrázek 10 je rozdělen zadní stěnou, na místo pro přípravu surovin a pracovní prostor ventilátoru. Dále je zde několika otvorů, jimž náleží funkce přívodu a odvodu pracovního média, jak ve formě kapalného, tak plynného (přehřátá pára). K zabezpečení stejné teploty ve všech místech konvektomatu slouží ventilátor. Tyto základní prvky jsou zachovány u každého stroje a na těchto mechanismech pracuje konvektomat.

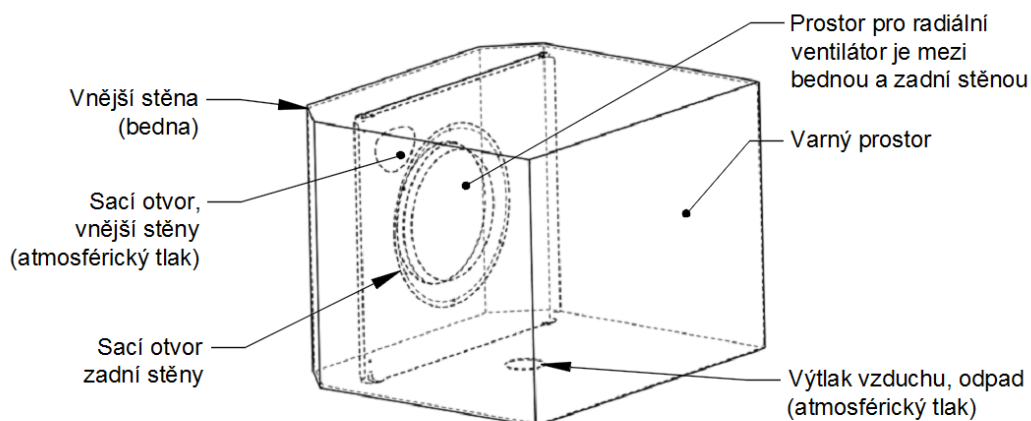
Hlavní prvky varné komory:

- Vnější stěna (bedna)
- Zadní stěna
- Ventilátor
- Topná spirála
- Nástřikový systém

Funkční prvky varné komory

- Osvětlení
- Vpichovací sonda
- Žebříky pro gastronádoby

3.1 Hlavní prvky varné komory



Obr. 10 Schéma varného prostoru

Vnější stěna (Bedna)

Jedná se o pracovní prostor konvektomatu, kde jsou umístěny další hlavní prvky stroje. Součástí bedny je sací a výtlakový otvor s odpadem. Bedna je svařenec, který je vodotěsný a z přední strany je opatřen dveřmi. Uvnitř komory dosahuje teplota až 300 °C, takže v bedně dochází k velkým teplotním rozdílům i velkému mechanickému pnutí. Vnější stěna je od okolí izolována pomocí izolátorů, které zajišťují ochranu proti únikům tepla.

Sací otvor

Do sacího otvoru proudí atmosférický tlak. Otvor je umístěn v horní polovině zadní stěny, takže hlavním elementem, jenž vtahuje vzduch do varného prostoru, je ventilátor.

Sání je automaticky ovládáno klapkou, která je umístěna v potrubí sacího komínku. Množství potřeného vzduchu ve varném prostoru udává program, který při přípravě jídla používáme.

Výtlak vzduchu, odpad

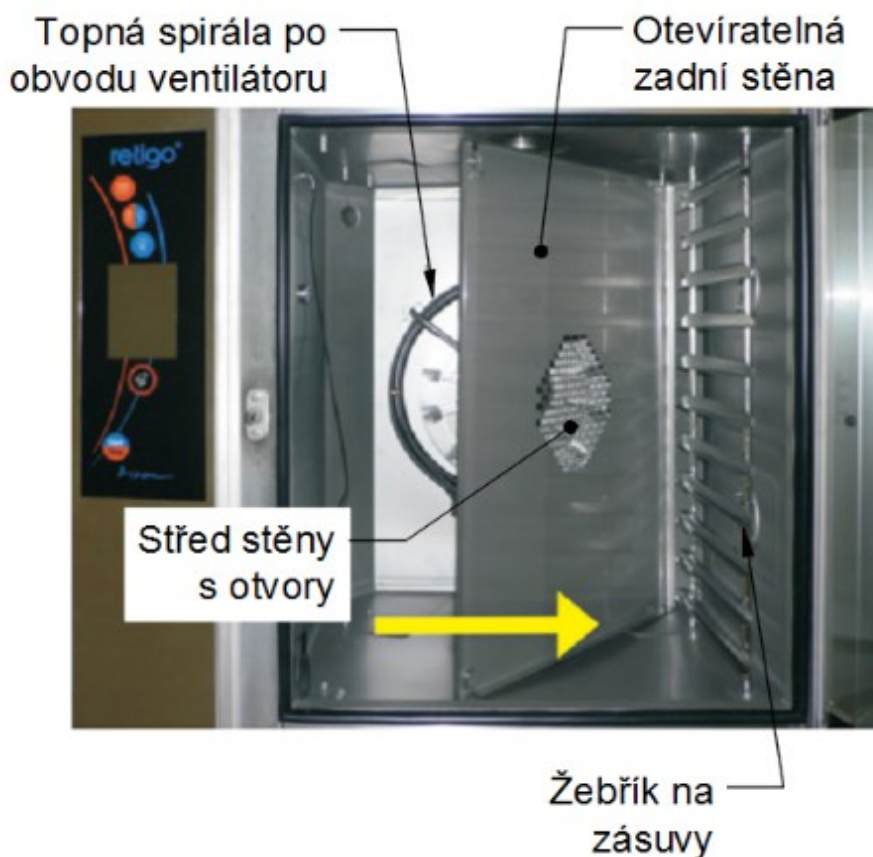
Výtlak vzduchu je zabudován v odpadním otvoru. Pokud vznikne v konvektomatu větší změna tlaku, tento otvor tuto změnu kompenzuje, jelikož je spojen s krabicí mytí a komínkem, který má hodnotu tlaku atmosférického.

Zadní stěna

Zadní stěna se nachází uvnitř varného prostoru mezi ventilátorem a prostorem pro přípravu jídla. Tuto stěnu používá každý výrobce konvektomatů, s jejíž pomocí se snaží docílit rovnoměrný vstup ohřátého média mezi upravované suroviny. Stěna je opatřena otvory ve středu, kde se nachází ventilátor a při krajích je ohnuta směrem do varného prostoru, aby vzduch proudil po bocích do přední části stroje. Zde se vyskytují znatelné tepelné ztráty, jelikož dveře v přední části konvektomatu jsou opatřeny sklem.

Sací otvor stěny

Sací otvor stěny je umístěn uprostřed zadní stěny a slouží k nasávání a opětovnému přehřátí pracovního média. Před ventilátorem vzniká malý podtlak, což zrychluje nasátí ventilátoru, a tím se eliminuje snížení potenciálního nedopečení surovin v této oblasti.



Obr. 11 Vnitřní prostor konvektomatu

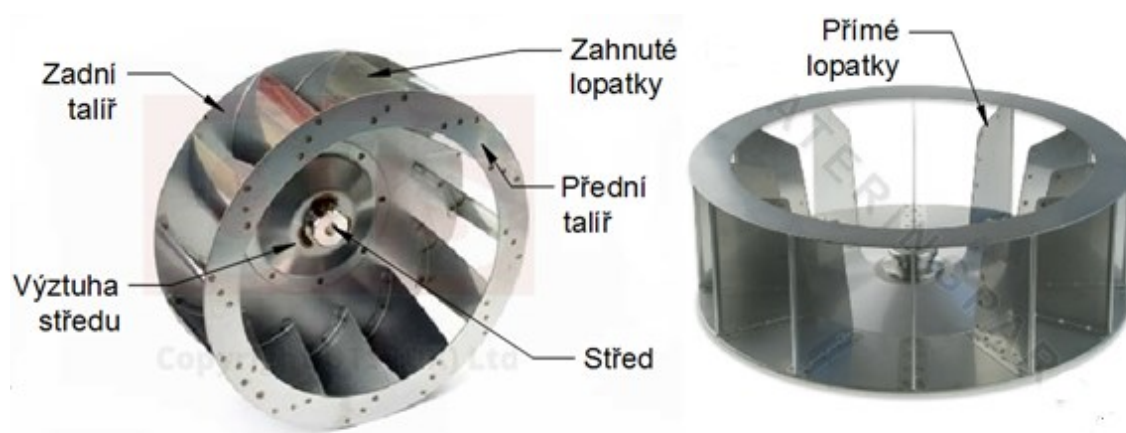
Ventilátor

Slouží k dopravě vzdušin v konvektomatu. Používá se zde diagonální ventilátor, na který jsou kladeny specifické požadavky. Musí odolávat prudkým změnám teploty, dosahovat příčného výtlačku a být lehký.

Tvar ventilátoru

Každá firma používá odlišný tvar ventilátoru, který si nechává patentovat. Liší se jak v počtu lopatek, tak ve tvaru a zakřivení lopatky, či úhlu, který svírá s osou otáčení. Každý prolis na lopatce má vliv na geometrii proudícího vzduchu. V dnešní době můžeme spočítat, nebo nasimulovat výtlačk ventilátoru ve varném prostoru a říct, že právě náš ventilátor má lepší výkon, než konkurence, ale už nemůžeme věrně nasimulovat, jak bude vzduch

v konvektomatu cirkulovat při všech pracovních programech. Jelikož se podmínky, v nichž se ohřátý vzduch pohybuje, mění každý pracovní proces. Proto se měření provádí experimentálně.



Obr. 12 Ukázka ventilátoru se zahnutými a přímými lopatkami [5]

Změna rotace ventilátoru

Aby výrobci docílili optimální teploty ve všech částech konvektomatu, tak mění otáčky ventilátoru pravidelně v několika minutových intervalech. Tuto metodu využívá část výrobců. Ostatní prezentují, že jejich ventilátor a zadní stěna je dokonalá, a proto tuto optimalizaci odmítají. Nejjednodušší systém, jak poznat, kdy dotyčná firma používá změnu rotace, je podle ventilátoru. Ventilátor, který dokáže rotovat na obě strany, nemůže mít zakřivené lopatky. Patrné z obr. 12 .

Uchycení ventilátoru

Správné ukotvení ventilátoru je důležité z hlediska provozu, jelikož se otáčí velkou rychlostí až 1410 ot/min. Výrobci na tento bod nekladou přílišný důraz, jelikož se na první pohled nezdá, že může mít až takový význam na funkci stroje. Při nedokonalém upnutí může dojít k pozvolnému povolení spojení a ventilátor přestane rotovat. Dále může nastat rychlé uvolnění a vyletění ventilátoru do prostoru, jelikož se neustále mění směr jeho rotace. Jako první by byla poničena tepelná spirála a zadní stěna. Proto provedu výpočet, na jehož základě budu moci při instalaci použít momentový klíč, a tím se vyvaruji těmto problémům, které mohou nastat.

Topná spirála

Slouží k ohřívání varného prostoru a udržování požadované teploty. Spirála je umístěna kolem ventilátoru v několika řadách, a alespoň dvou vrstvách, aby dosahovala určitého výkonu. Velká výhoda je, že umí nepřetržitě pracovat v teplotě okolo 300 °C. Jediný problém, před kterým si musíme dát pozor je elektrický zkrat, ke kterému může dojít při dotyku dvou vodičů.

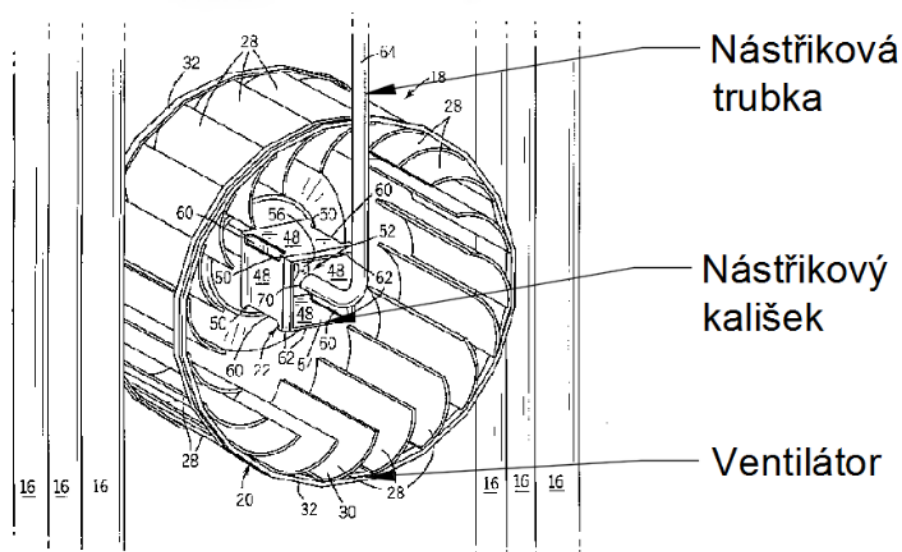
Topná spirála je odporové topné těleso, které má kruhový průřez a je tvarována do spirály. Plášť topné tyče je tvořen kovovou trubicí a může být povrchově upraven, aby se zlepšila odolnost pro účel použití. Uvnitř kovového pláště se v izolovaném prostředí nachází odporová topná spirála s vývodovými kolíky. Trubka je poté dostatečně utěsněna, aby vnitřní aktivní část byla dokonale chráněna před škodlivými vlivy pracovního prostředí.

Nástříkový systém

Nástříkový systém se skládá ze tří hlavních částí, ventilátor, nástříková trubka a nástříkový kalíšek.

Voda je přiváděna pomocí nástříkové trubky do nástříkového kalíšku, který je umístěn na ose ventilátoru. Voda se z nástříkového kalíšku dostává ven pomocí malé dírky na obvodu díky odstředivé síle, která na vodu působí. Odtud putuje na plochu lopatek, a je rozstříknuta v okolí ventilátoru. Po obvodu se nachází topná spirála, která vodu promění v páru. Od množství přivedené vody do kalíšku se odvozuje sytost páry. Která dále působí jako pracovní médium v prostoru.

Kalíšky můžou být různých tvarů, obvykle se používají kruhové profily. Avšak používá se i provedení do čtverce, šestiúhelníku a jiné.



Obr. 13 Popis nástríkového systému [7]

3.2 Funkční prvky varné komory

Osvětlení

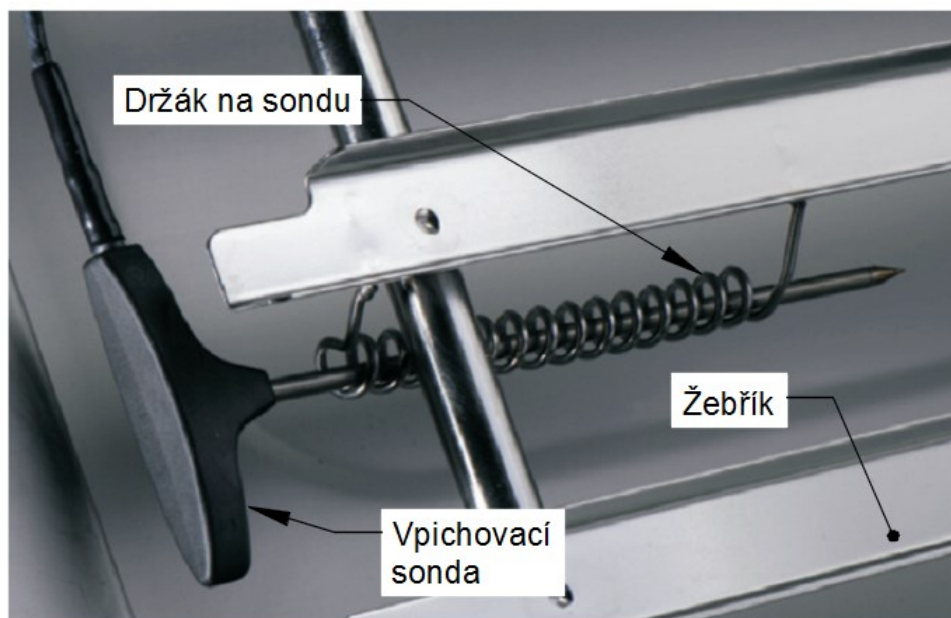
Osvětlení je velice důležité, aby zákazník viděl na přípravu jídla a dokázal posoudit, v jakém stavu připravenosti se nachází. Vnímání spektrálních barev je subjektivní, a tak při návrhu teploty barev je nutno přizvat několik odborníků z oblasti gastronomie. Pro osvětlení se používají teplé žluté barvy. Pouze v tomto světle dokážeme říct, v jakém stavu připravenosti se jídlo nachází a zdali to vypadá dobře. To je způsobeno, že náš mozek je naučen z reklam, že čím zlatavější to kuře bude tím lépe chutná.

Z technického hlediska je ukotvení a především utěsnění světelného průzoru do bedny velice problematické, jelikož uvnitř prostoru může být až 300°C což je problém pro těsnění, které by tuto teplotu vydrželo a zároveň bylo zdravotně nezávadné. Každá firma si tyto mechanismy uchycení bedlivě chrání pomocí patentů.

Vpichovací sonda

Vpichovací sonda obrázek 14 slouží pro kontrolu teploty uvnitř zpracovávané potraviny a k řízení varného procesu, aby byla potravina podrobena šetrnému způsobu zpracování.

Jehly mohou měřit i teplotu více bodově záleží podle počtu snímačů v sondě.



Obr. 14 Vpichovací sonda

Žebříky pro gastronádoby

Slouží k uchycení gastronádob ve varném prostoru. V každém stroji se nachází dva žebříky a mezi ně se vsune gastronádoba Obr. 11.

4 Analýza problému

Jeden z problémů u konvektomatu, se kterým výrobci přicházejí do styku je rovnoměrnost pečení. Požadavek u zákazníků je, aby konvektomat připravoval jídla ve všech místech varného prostoru stejná. Což je pro výrobce velký problém. Při zahřívání vzduchu se nám teplý vzduch tlačí ve varném prostoru nahoru a chladný zůstává ve spodní části. U malých strojů, jako 611 jsou tyto problémy zanedbatelné kvůli malým rozměrům. Kdežto u velkých konvektomatů jsou tyto teplotní změny znatelné. Avšak jistá korekce teploty probíhá u všech strojů. Možnosti, které ovlivňují rovnoměrnost pečení, jsou následující:

- Změna tvaru ventilátoru
- Změna rotace ventilátoru v průběhu pečení
- Změna geometrie zadní stěny, či vytvoření otvorů ve stěně

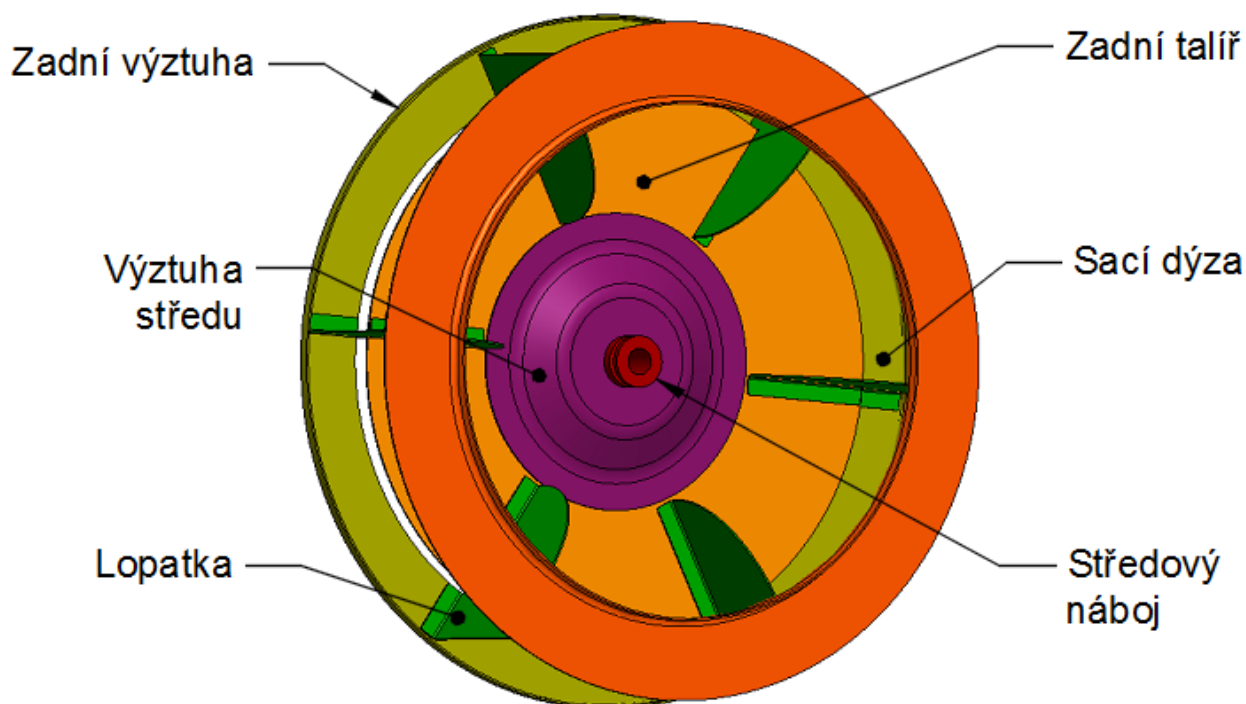
Další problém, který se vyskytuje při používání konvektomatu, je deformace ventilátoru v závislosti na teplotě a jejich následná kolize s topnou spirálou. Právě tento problém může způsobit mechanické poškození, nebo na sebe upozorňovat pomocí hluku. Proto tyto problémy patří mezi první, kterých by si zákazník mohl všimnout. Nežádoucí zvuky může způsobit i výskyt rezonanční frekvence v této oblasti otáček.

5 Optimalizace ventilátoru

Optimalizací jsem se zbýval, abych v maximální možné míře eliminoval deformaci ventilátoru, která je způsobena skokovými změnami teploty o rozdílu až 250 °C. Následná deformace může mít za následek kolizi s topnou spirálou, která se nachází po jeho obvodu.

Pro práci jsem zvolil jednu z verzí šesti lopatkového ventilátoru obr. 15, který je ve firmě používán. Ve výpočtech jsem ověřoval a optimalizoval část rizik, které mohou při provozu vznikat.

Hlavní faktory, které by ventilátor měl splňovat je nízká hmotnost a vyšší tuhost, která zamezí deformaci ventilátoru. Těžší komponenty jsou umístěny blíže ke středu, aby nenarůstal moment setrvačnosti, protože moment setrvačnosti roste s druhou mocninou vzdálenosti r od středu osy rotace.



Obr. 15 Optimalizovaný ventilátor

Popis konstrukce:

Ke konstrukci byly použity převážně plechy a jedna kulatina. Plechy jsou o tloušťkách 1 mm a 0,8 mm. Do návrhu byl použit materiál 1.4301. Celý výrobek je svařenec.

Zadní talíř: Hlavní nosná část ventilátoru je kruhového tvaru s prolisem uprostřed, který slouží jako vyztužení. Tento part je navrhnut z plechu o tloušťce 1 mm.

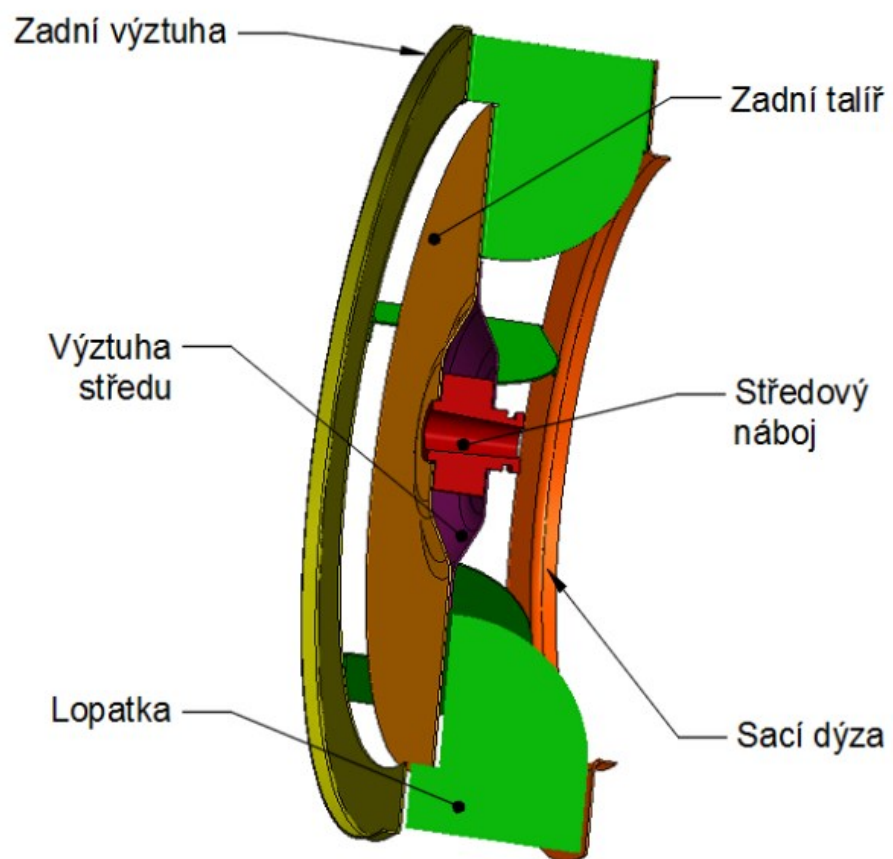
Výztuha středu: slouží k zlepšení pevnosti ventilátoru a spolu se zadním talířem vytváří ideální kotvicí prostor pro výztuhu středu. Tento díl je kruhový s prolisem a byl použit materiál o tloušťce 1 mm.

Středový náboj: je prvek, pomocí kterého je ukotven ventilátor na hřídel elektromotoru a přenáší krouticí moment. Je to jediný soustružený díl. Ukotvení ventilátoru na hřídel elektromotoru je provedeno pomocí kuželového spojení.

Lopatky: Na konstrukci po obvodu ventilátoru bylo použito 6 oběžných lopatek, které nemají nijak výrazně tvarovanou pracovní geometrii, protože nesmím ovlivnit výtlak ventilátoru změnou směru otáčení. Na konstrukci byl použit materiál o tloušťce 0,8 mm.

Zadní výztuha: Pod zadní stěnou je umístěna výztuha, která má zlepšit mechanické vlastnosti ventilátoru. Úskokem mezi těmito součástmi se docílilo větší pracovní plochy. Na tuto výztuhu byl použit materiál o stěně 1 mm.

Sací dýza: Slouží k uchycení lopatek na přední části ventilátoru a přidáním prolisu na venkovní stranu se docílilo zlepšení nasávání vzduchu z varného prostoru. Dýza je z materiálu o tloušťce 1 mm.



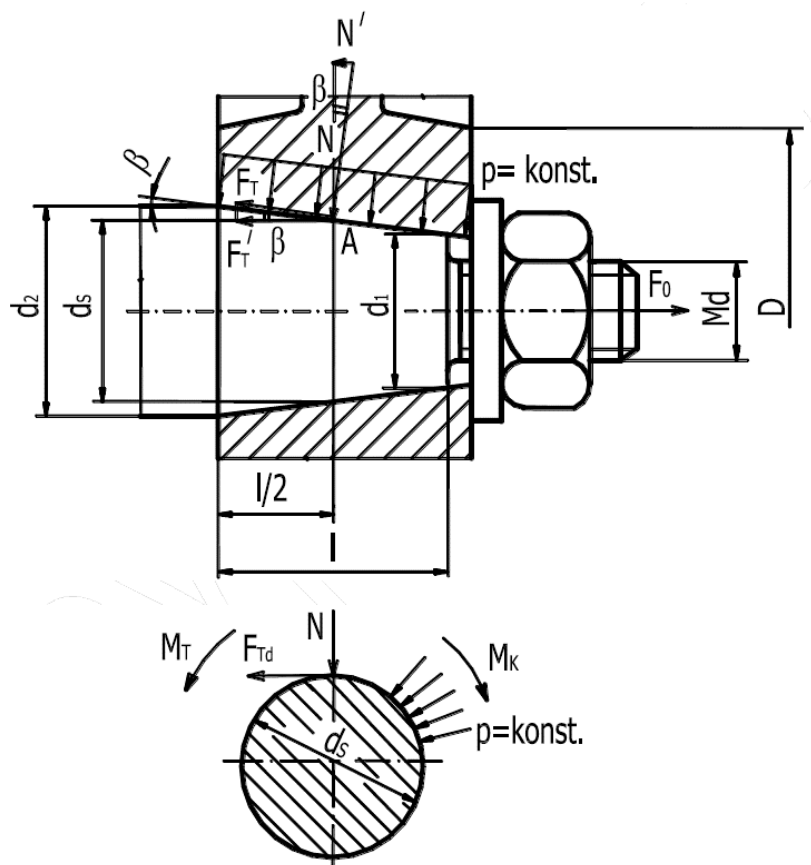
Obr. 16 Řez ventilátoru

6 Kontrolní výpočty

Jako první podrobím výpočtu ukotvení středového náboje na hřídel elektromotoru. Spočítám minimální utahovací moment, aby nedošlo k postupnému uvolnění ventilátoru. A určím kuželovitost spojení, aby při demontáži nebyl potřeba stahovák.

6.1 Výpočet sevření na kuželové ploše:

Sevření na kuželové ploše je spojení, kde je krouticí moment přenášen na náboj pomocí měrného tlaku, který po dotažení šroubu, mezi těmito plochami začne působit. Při výpočtu svěrného spoje s kuželem, vypočítám osovou sílu a na základě toho stanoví utahovací moment a velikost metrického závitu **Md**. Na základě tohoto výpočtu můžu správně nastavit momentový klíč.



Obr. 17 Kuželový spoj [6]

Tlak, který vzniká ve spojení třecích kuželových ploch **p**, budu uvažovat, že je konstantní a dovolím si ho nahradit zjednodušenou normálovou silou **N**, která působí na

středním průměru d_s v bodě **A**. Následně z rovnováhy sil, která na v kuželovém spojení působí ve směru osy, dokážu vyjádřit sílu F_0 což je velikost předepjaté síly.

$$F_0 = N' + F_t' = N \cdot \sin\beta + N \cdot f \cdot \cos\beta = N \cdot (\sin\beta + f \cdot \cos\beta) = \\ = p \cdot S \cdot (\sin\beta + f \cdot \cos\beta) = p \cdot \pi \cdot d_s \cdot \frac{1}{\cos\beta} \cdot (\sin\beta + f \cdot \cos\beta)$$

Vyjdou z momentové podmínky přenosu zatížení M_K třením:

$$M_T > M_K \\ M_T = k \cdot M_K$$

M_T	třecí moment mezi kuželovým spojením	[N·m]
M_K	točivý moment elektromotoru	[N·m]
k	koefficient bezpečnosti prokluzu $k \geq 1.3$, volím 2	[-]

Za předpokladu, že je na celé dotykové ploše S , tlak p konstantní můžu vypočíst třecí moment

$$M_T = F_{Td} \cdot \frac{d_s}{2} = N \cdot f \cdot \frac{d_s}{2} = p \cdot S \cdot f \cdot \frac{d_s}{2} = p \cdot \pi \cdot d_s \cdot \frac{l}{\cos\beta} \cdot f \cdot \frac{d_s}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot p \cdot d_s^2 \cdot \frac{l}{\cos\beta} \cdot f$$

Po dosazení M_T do momentové podmínky vyjádříme tlak p

$$\frac{\pi}{2} \cdot p \cdot d_s^2 \cdot \frac{l}{\cos\beta} \cdot f = k \cdot M_K \\ p = \frac{2 \cdot k \cdot M_K}{\pi \cdot d_s^2 \cdot \frac{l}{\cos\beta} \cdot f}$$

Výslednou rovnici pro výpočet předepjaté síly ve šroubu F_0 zjistíme po dosazení tlaku p

$$F_0 = \frac{2 \cdot k \cdot M_k \cdot (\sin\beta + f \cdot \cos\beta)}{d_s \cdot f}$$

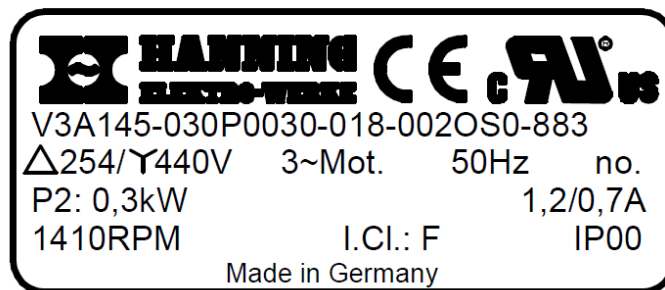
$$F_0 = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2,03 \cdot (\sin 2,8624 + 0,2 \cdot \cos 2,8624)}{0,0153 \cdot 0,2} =$$

$$F_0 = 662,57 \text{ N}$$

F_0	předepjatá osová síla šroubu	[N]
β	úhel sklonu náboje	[°]
f	koefficient tření volíme pro nerezovou ocel 0,2	[-]
d_s	střední průměr kuželového náboje	[m]

Pro výpočet předepjaté síly ve šroubu musím spočítat krouticí moment M_k motoru. Z Obr. 18 Datasheet elektromotoru vyčtu, že motor má výkon $P=0,3\text{kW}$ a točí rychlostí $n=1410 \text{ ot/min}$.

Art. Nr. 131.000.883



Obr. 18 Datasheet elektromotoru [10]

$$M_K = \frac{P_{el.}}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{P_e \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} = \frac{0,3 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1410}{60}}$$

$$M_K = 2,03 \text{ Nm}$$

P_{el}	výkon elektromotoru	[kW]
n	otáčky elektromotoru	[ot·min ⁻¹]

Kuželovitost čepu **K** volí se mezi 0,1-0,2 [-] pokud zvolíme menší hodnou kuželovitosti, budeme muset při uvolnění třecí ho spoje použít stahovák.

$$K = \frac{d_{k2} - d_{k1}}{l}$$

$$K = \frac{17,3 - 13,3}{40}$$

$$K = 0,1$$

d_{k1}	nejmenší průměr kuželové hřídele	[mm]
d_{k2}	největší průměr kuželové hřídele	[mm]
K	kuželovitost hřídele	[-]
l	délka kuželového náboje	[mm]

Kuželovitost **K** má hodnotu 0,1 a splňuje podmínku pro demontáž zařízení ručním způsobem.

Při výpočtu sklonu kužele vycházím z vypočtené hodnoty pro kuželovitost čepu **K**:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{K}{2}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{0,1}{2} = 0,05$$

$$\beta = 2,8624$$

Další hodnotu, kterou budu kontrolovat je délka náboje. Tuto kontrolu určím z podmínky měrného tlaku pro ocelový náboj $p_D=40$ [MPa]

$$p \leq p_D$$
$$\frac{2 \cdot k \cdot M_k}{\pi \cdot d_s^2 \cdot \frac{l}{\cos \beta} \cdot f} \leq p_D$$

$$l \geq \frac{2 \cdot k \cdot M_K \cdot \cos \beta}{\pi \cdot d_s^2 \cdot f \cdot p_D}$$

$$l \geq \frac{2 \cdot 2 \cdot 2030 \cdot \cos 2,8624}{\pi \cdot 15,3^2 \cdot 0,2 \cdot 40}$$

$$l \geq 13,78 \text{ mm}$$

p měrný tlak v náboji [MPa]

P_D maximální měrný tlak v náboji [MPa]

Minimální délka náboje **l** musí být 13.78 mm.

K ukotvení ventilátoru na kuželový náboj volím šroub o velikosti **M10** s následujícími parametry v Tabulka 1 Potřebné parametry závitu M10 .

Tabulka 1 Potřebné parametry závitu M10

Závit	Stoupání P_h	d [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]	s_k [mm]
M 10	1,5	9,968	8,994	8,128	16

d vnější průměr závitu šroubu [mm]

d₂ střední průměr závitu šroubu [mm]

d₃ průměr jádra závitu [mm]

P_h stoupání závitu [mm]

Výpočet utahovacího momentu pro šroub **M 10**

$$M_U = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f \cdot \frac{D_s}{4} =$$

$$M_U = 662,57 \cdot \operatorname{tg}(3,03 + 0,2887) \cdot \frac{8,994}{2} + 662,57 \cdot 0,2 \cdot \frac{13,25}{4} =$$

$$M_U = 61,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Výpočet **D_s** což je střední průměr mezi stykovou plochou matice podložky, který potřebujeme k výpočtu utahovacího momentu.

$$D_s = \frac{s_k + d_D}{2}$$

$$D_s = \frac{16 + 10,5}{2}$$

$$D_s = 13,25 \text{ mm}$$

D_s střední průměr stykové plochy matice a podložky [mm]

s_k velikost utahovacího klíče [mm]

d_D vnitřní průměr podložky [mm]

výpočet stoupání závitu **ψ**

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{P_h}{\pi \cdot d_2}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{1,5}{\pi \cdot 9,026}$$

$$\psi = 3,03^\circ$$

ψ úhel stoupání závitu [°]

výpočet třecího redukovaného úhlu **φ'**

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{0,25}{\cos \frac{60}{2}}$$

$$\varphi' = 0,2887$$

Tabulka 2 Určení tření v závitech [6]

Povrch matice	Povrch šroubu	Součinitel smykového tření na závitu f_z [-]	
		nemazaném	mazaném olejem
neupravený	neupravený	0,19 ÷ 0,36	0,16 ÷ 0,24
	fosfátovaný	0,28 ÷ 0,40	0,17 ÷ 0,30
	černěný	0,27 ÷ 0,36	0,25 ÷ 0,28
	zinkovaný	0,13 ÷ 0,22	0,13 ÷ 0,18
	kadmiový	0,10 ÷ 0,18	0,10 ÷ 0,17
zinkovaný	zinkovaný	0,21 ÷ 0,43	0,11 ÷ 0,17
kadmiový	kadmiový	0,15 ÷ 0,38	0,10 ÷ 0,17

Z tabulky 2 volím součinitel smykového tření 0.25

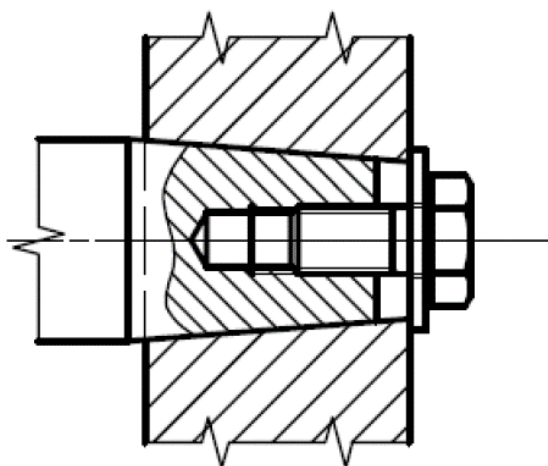
φ' třecí úhel závitu [°]

f_z součinitel smykového tření na závitu [-]

α vrcholový úhel metrického závitu [°]

U těchto velikostí kuželového spojení se standardně používá závit, který je vysoustružen na ose hřídele a náboj se přitahuje maticí s podložkou. U mého ventilátoru použiji šroub s hlavou zavrtanou v ose hřídele Obr. 19 Způsob ukotvení [2] a to z hygienického hlediska. V závitu by hrozilo usazování nečistot, což eliminuji variantou se šroubem.

Minimální utahovací moment je $M_U=61.7 \text{ N}\cdot\text{m}$ tato hodnota je velice nízká z důvodu uchycení ventilátoru na kuželovém spojení.



Obr. 19 Způsob ukotvení [2]

6.2 Výpočet deformace ventilátoru MKP

Dalším krokem v mé práci se budu zabývat deformací ventilátoru při změně teploty.

Při skokových změnách teploty může dojít k mechanickému kontaktu, mezi ventilátorem a topnou spirálou, která se nachází po jeho obvodu, nebo se zadní stěnou, která je rovněž v těsné blízkosti.

Největší deformační změna ventilátoru se projevuje při programu mytí. Po dokončení pečicího programu může být vnitřní prostor konvektomatu spolu s ventilátorem na temperován teplotou až 300 °C, což má za následek při spuštění mycího programu velký teplotní šok, jelikož do prostoru je puštěna studená voda.

Popis připravení modulu pro výpočet deformace MKP v Ansysu

V programu jsem otevřel ventilátor a nastavil jsem vstupní hodnoty pro výpočet. Materiál, mřížku, vazby, zatížení.

Model je pro zjednodušení brán jako odlitek, jelikož simulace je velice rozsáhlá a náročná a já nedisponuji patřičným hardwarovým vybavením, které by mi dovolilo udělat přesnější výpočty.

Materiál:

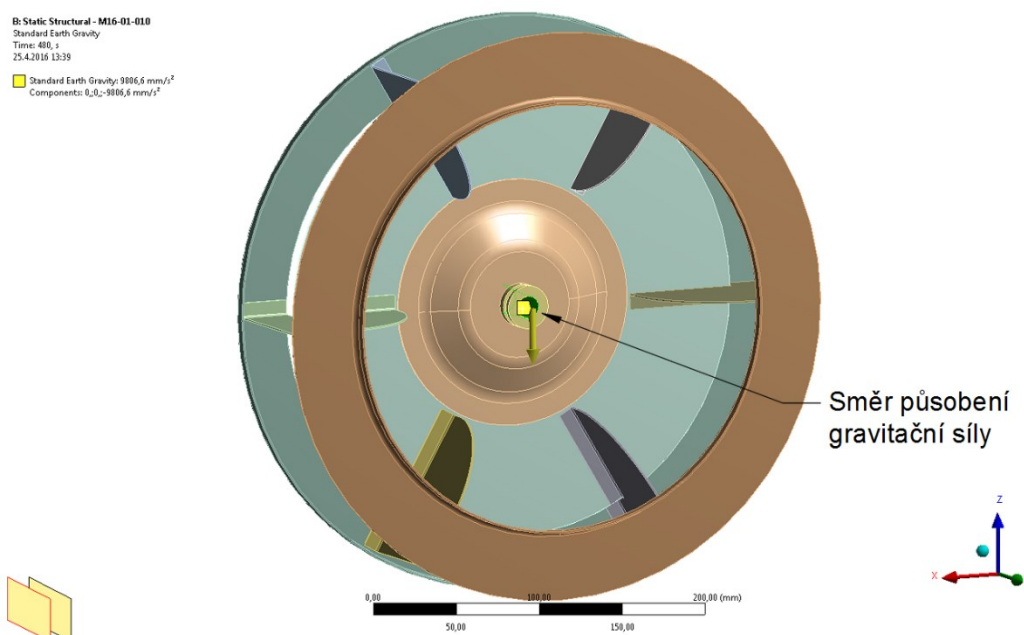
V tabulce materiálů jsem nadefinoval nerezovou ocel 1.4301 a její mechanické vlastnosti, které jsem vyčetl z materiálového listu.

Nastavení sítě

Nastavení sítě je důležité z hlediska přesnosti výpočtu. Při prvním výpočtu ponechám původní nastavení a to je minimální velikost prvku 1 mm. Ve finální fázi můžu mřížku podle potřeby upravit.

Gravitace

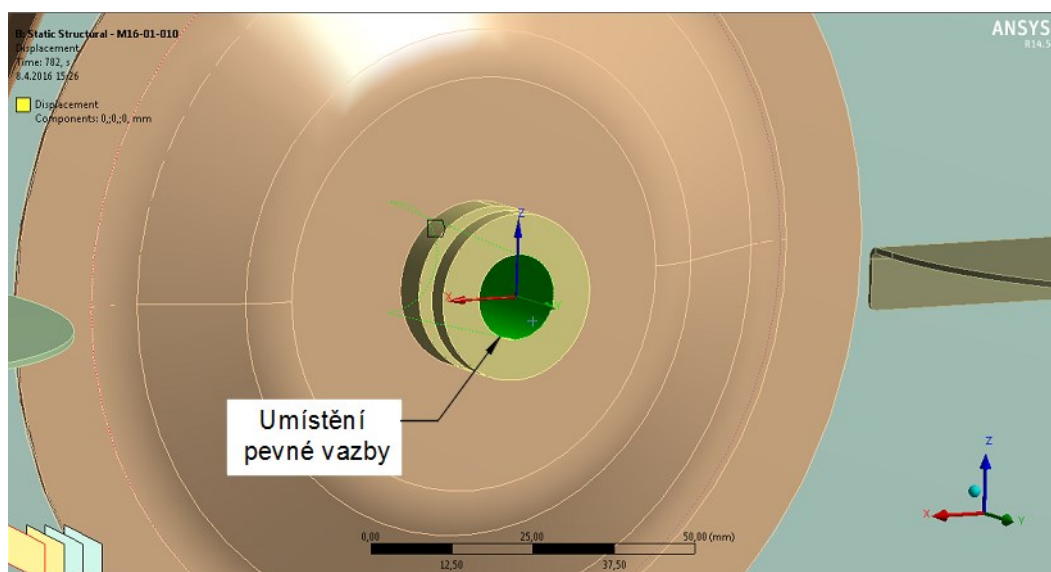
Nesmím opomenout gravitační sílu, která na ventilátor působí. Zavedl jsem ji v ose **Z** znázorněno na Obr. 20 Určení směru gravitační síly a má hodnotu $-9,8066 \text{ m.s}^{-2}$.



Obr. 20 Určení směru gravitační síly

Vazby

K ukotvení ventilátoru jsem použil pevnou vazbu Obr. 21 Umístění pevné vazby na ventilátoru. Ta má představovat tuhé nasazení na hřídeli elektromotoru, tudíž posunutí je ve všech osách 0.



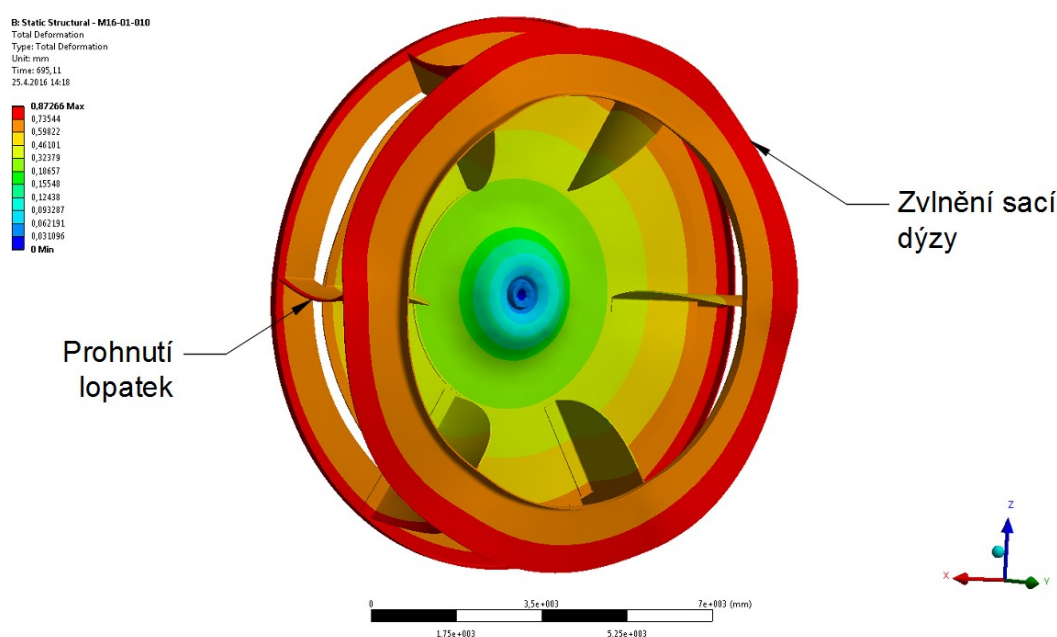
Obr. 21 Umístění pevné vazby na ventilátoru

Zatížení

K simulaci teplotního zatížení jsem vybral všechny komponenty ventilátoru.

Výsledky analýzy

Největší mechanické deformace jsou patrné v oblasti lopatek a sací dýzy Obr. 22. Výsledek deformační analýzy, jelikož tyto komponenty jsou nejdále od tuhého středu a lopaty jsou z tenčího materiálu, než okolní součásti. Nejmenší deformace je na středu náboje, protože je pevně nasazen na hřídel elektromotoru.



Obr. 22 Výsledek deformační analýzy

Z výsledků simulační analýzy jsem vyčetl, že největší deformace dosahuje hodnoty 0.87 mm na vnějším okraji sací dýzy, což není nijak moc, ale musím vzít v potaz, že tyto hodnoty jsou pouze na jedné straně, tudíž na průměru vzniká dvojnásobná hodnota 1.74 mm. Na základě těchto hodnot provedu konstrukční úpravy.

6.3 Výpočet modální analýzy v MKP

Modální analýzou se zjišťují vlastní tvary modelu a jejich vlastních frekvencí. Každá mechanická konstrukce obsahuje řadu rezonančních frekvencí, na kterých je snadné ji rozkmitat a způsobit destrukci objektu. Princip spočívá v tom, že při otáčení vznikají

frekvenční síly, které jsou rovny frekvenci otáčení. Pokud se vyskytnou otáčky stejné s rezonanční frekvencí, tak se může objekt snadno rozkmitat a poškodit.

Modální analýzu pro ventilátor jsem aplikoval, abych zjistil, zdali může dojít k poškození zařízení. Ventilátor maximálně pracuje při 1410 ot/min.

Simulaci jsem provedl ve výpočtovém programu Ansys.

Materiál

Nerezová ocel 1.4301 ponechal jsem stejné nastavení vlastností materiálů jako u předchozí simulace. Nejdůležitější prvky pro výpočet simulace jsou uvedeny v Tabulka 3 Vlastnosti nerezové oceli 1.4301[8]

Tabulka 3 Vlastnosti nerezové oceli 1.4301[8]

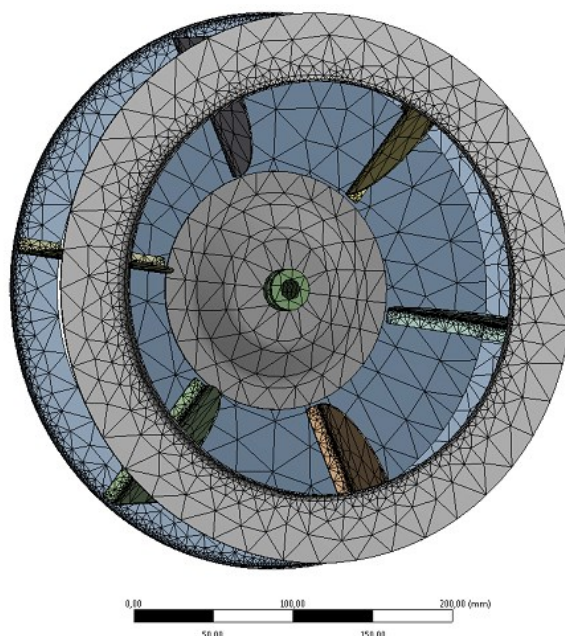
Modul pružnosti	E	$2.07 \cdot 10^5$ [MPa]
Poissonova konstanta	μ	0.29 [-]
Hustota	ρ	7.750 [kg/m ³]

Nastavení sítě

Pro modální analýzu je dostačující volné vysítování Obr. 23 Hustota nastavení sítě, které jsem nechal automaticky nastaveno a software nám vygeneroval síť přibližně o 45 000 prvcích.

Mesh
25.4.2016 15:04

Edge/Face Connectivity
Free
Single
Double
Triple
Multiple



Obr. 23 Hustota nastavení sítě

Vazby

K ukotvení jsem použil fixní vazbu, kterou jsem uchytil na střed, ta má simulovat pevné ukotvení na hřídel elektromotoru.

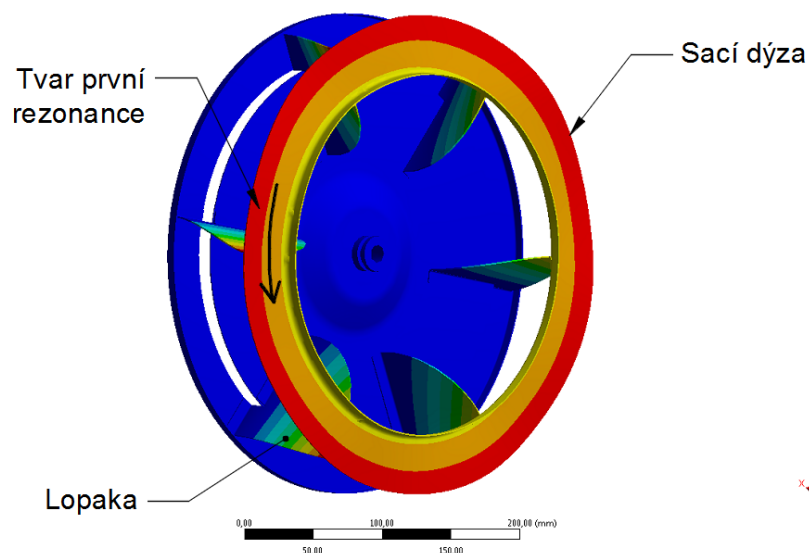
Výsledky

Interpretují vlastní tvary a rezonanční frekvence ventilátoru. Což se dá lépe pochopit z výkladu, že program nám nasimuloval a určil několik oblastí, v kterých ventilátor nemůže trvale pracovat, jelikož tam dochází k výskytu stejné rezonanční frekvence konstrukce a frekvence otáčení.

První rezonanční pásmo se nachází ve frekvenci 130.75 Hz což je 7845 ot/min a směr tvaru rezonance je rozkmitání posunu sací dýzy ve směru otáčení viz na Obr. 24 Tvar první rezonance.

C:\Modal - Hz M16-01-010
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 130,75 Hz
Unit: mm
25.4.2016 15:46

55,496 Max
49,37
43,164
36,997
30,831
24,665
18,499
12,332
6,1662
0 Min



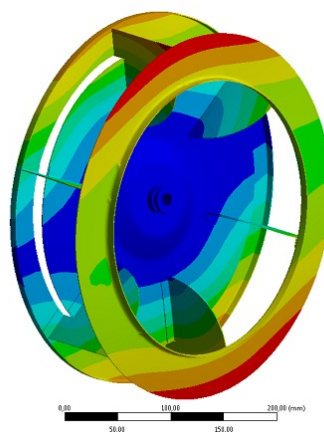
Obr. 24 Tvar první rezonance

Reálná pracovní oblast ventilátoru je maximálně 1410 ot/min. Tímto mohu říct, že konflikt s rezonančním pásmem u tohoto ventilátoru nenastane.

Ukázka dalších rezonančních pásem a chování ventilátoru při vysokých otáčkách znázorněno na Obr. 25 Další tvary rezonancí.

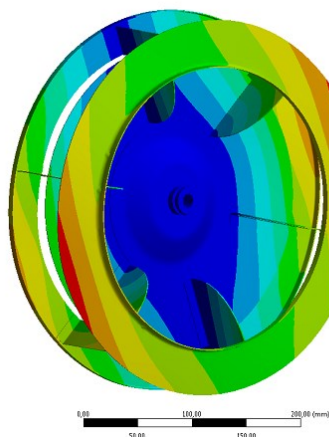
C:Model - Hz M16-01-010
 Total Deformation 2
 Type: Total Deformation
 Frequency: 174,13 Hz
 Unit: mm
 25.42016 16.00

51,162 Max
45,478
39,759
34,100
28,423
22,738
17,054
11,369
5,687
0 Min



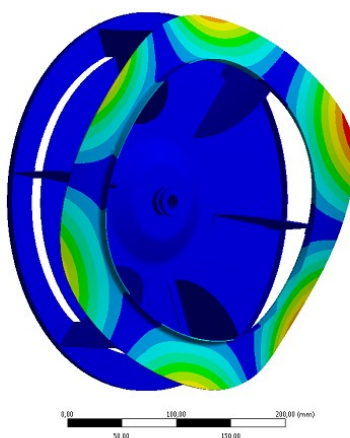
C:Model - Hz M16-01-010
 Total Deformation 3
 Type: Total Deformation
 Frequency: 181,58 Hz
 Unit: mm
 25.42016 16.00

55,200 Max
49,144
42,091
36,058
30,715
24,572
18,429
12,286
6,143
0 Min



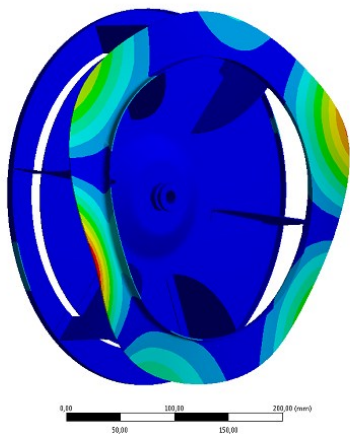
C:Model - Hz M16-01-010
 Total Deformation 4
 Type: Total Deformation
 Frequency: 172,33 Hz
 Unit: mm
 25.42016 16.00

1,47,86 Max
114,43
110
98,575
82,146
65,717
49,288
32,859
16,429
0 Min



C:Model - Hz M16-01-010
 Total Deformation 5
 Type: Total Deformation
 Frequency: 110,36 Hz
 Unit: mm
 25.42016 16.11

1,78,19 Max
158,78
126,6
110,8
98,987
75,187
58,396
38,598
15,798
0 Min



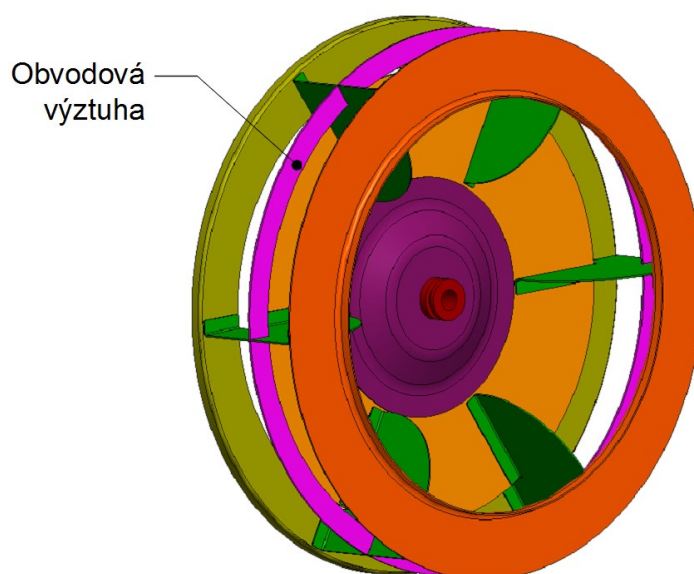
Obr. 25 Další tvary rezonanci

Na základě analýz, které jsem provedl, budu pokračovat a provedu výztuhu ventilátoru, aby se zlepšila pevnostní charakteristika a nedocházelo k deformacím. Zároveň musím myslet na hmotnost ventilátoru, a tudíž nemůžu provádět rozsáhlé vkládání výztuh.

6.4 Optimalizace ventilátoru

Varianta I

Přidal jsem obvodovou výztuhu Obr. 26 Konstrukční úprava tloušťce 1 mm, která by měla eliminovat deformace v této oblasti a zlepšit mechanické vlastnosti ventilátoru. Výztuhu jsem zde umístil z toho důvodu, že největší mechanické deformace vznikaly v lopatkách a byly přenášeny na sací dýzu. Plech je zasazen do lopatek v šířce 15 mm. Následně jsem provedl opětovnou simulaci na deformaci ventilátoru při provozní teplotě a modální analýzu.



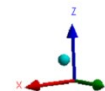
Obr. 26 Konstrukční úprava varianty I

Výpočet deformace varianty I v programu Ansys:

Nastavení softwaru jsem ponechal stejné, jako v předchozí deformační analýze. Pouze jsem aktualizoval 3D model v programu Ansys

Obvodová
výztuha

Oblast maximální
deformace



Obr. 27 Model deformace varianta I

Deformaci z velké části absorbovala obvodová výztuha viditelná na Obr. 27 Model deformace varianta I deformace na ventilátoru zmenšila 0.61 mm.

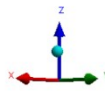
Výpočet modální analýzy varianty I

Modální analýzu opět provedu z toho důvodu, zdali jsem přidáním obvodové výztuže neposunul rezonanční pásma ventilátoru směrem k pracovní oblasti ventilátoru.

Vstupní nastavení programu jsem ponechal totožné s předchozím a nahradil jsem testovaný model variantou I

Tvar první
rezonance

Obvodová
výztuha

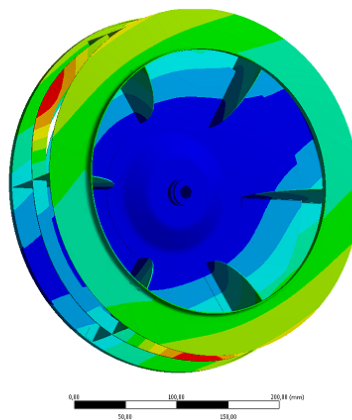


Obr. 28 Tvar první rezonance varianty I

Z Obr. 29 Další tvary rezonancí varianty I je patrné jaký tvar mají další rezonance

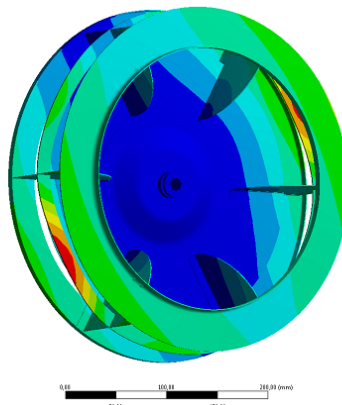
E-Model - Hs M16-01-050
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 341.53 Hz
Unit: mm
24.4.2015 9:57

64.273 Max
52.833
49.855
42.799
35.64
28.512
21.384
14.256
7.1279
0 Min



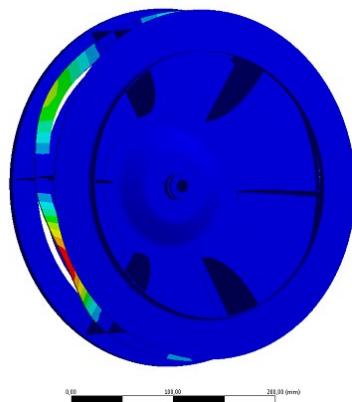
E-Model - Hs M16-01-050
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 387.71 Hz
Unit: mm
24.4.2015 9:57

78.075 Max
65.4
60.725
52.85
45.175
38.1
30.825
23.65
16.475
0 Min



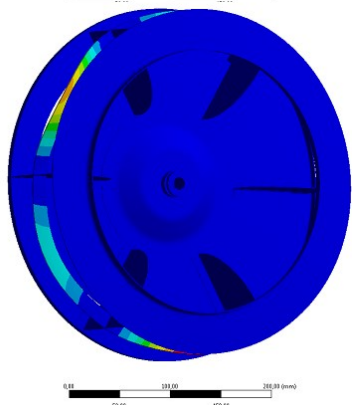
E-Model - Hs M16-01-050
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 254.3 Hz
Unit: mm
24.4.2015 9:59

223.54 Max
190.7
173.86
148.53
124.19
99.254
74.113
48.875
24.436
0 Min



E-Model - Hs M16-01-050
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 295.01 Hz
Unit: mm
24.4.2015 9:59

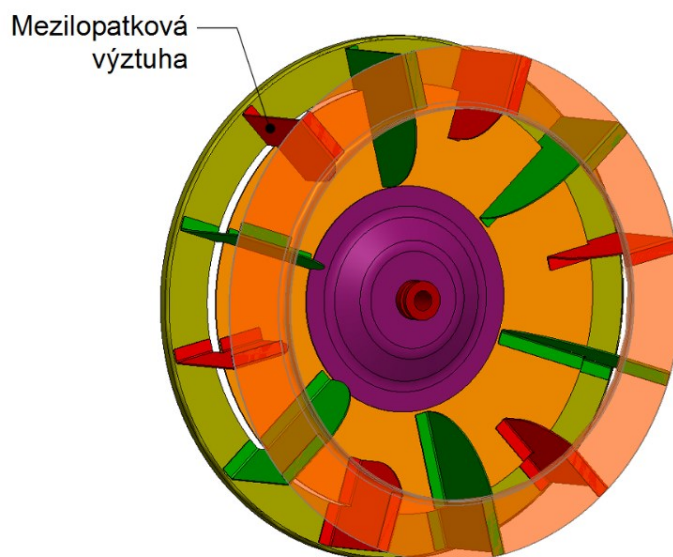
309.52 Max
268.48
247.4
226.34
205.29
184.23
163.173
142.124
21.377
0 Min



Obr. 29 Další tvary rezonancí varianty I

Varianta II

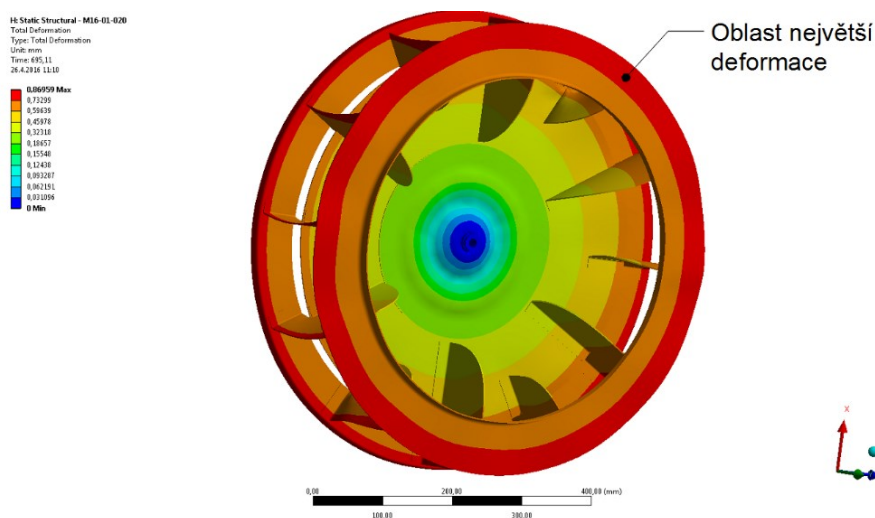
Po obvodu ventilátoru jsem provedl vyztužení znázorněno na Obr. 30 Výztuha varianty II. Přidáním menších lopatek o tloušťce 0.8mm došlo ke zpevnění konstrukce ventilátoru, kterou opět podrobím výpočtům na deformaci a modální analýzu.



Obr. 30 Výztuha varianty II

Výpočet deformace varianty II:

Nastavení softwaru jsem ponechal stejné a aktualizoval zkoumaný model v programu Ansys.

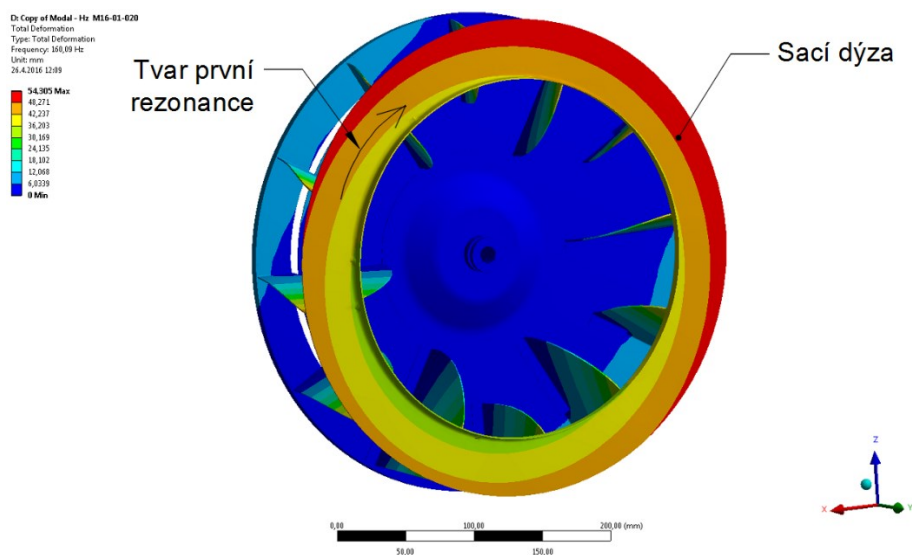


Obr. 31 Model deformace varianty II

Varianta II dosáhla maximální deformace 0,86 mm a to na obvodu sací dýzy oblast je znázorněna na Obr. 31 Model deformace varianty II.

Výpočet modální analýzy provedu, abych se ujistil, že přidáním výztuže jsem nezměnil rezonanční pásmo ventilátoru, které by mohlo ohrozit jeho funkci.

Vstupní nastavení simulační analýzy jsou totožné, upravil jsem model a poté ho vložil do programu.



Obr. 32 Tvar I rezonance varianty II

První rezonanční pásmo analyzovaného ventilátoru se nachází na 169.09 Hz. Největší posun vyvolaný rezonancí se nachází v sací dýze.

Na Obr. 33 Další tvary rezonancí varianty II můžeme vidět její průběhy.

D: Copy of Model - Hz M16-01-020

Total Deformation 2

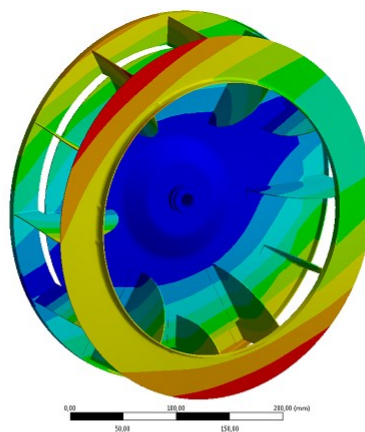
Type: Total Deformation

Frequency: 105,51 Hz

Unit: mm

26.4.2016 12:17

48,523 Max
43,129
37,238
32,347
26,556
21,665
16,174
10,782
5,3912
0 Min



D: Copy of Model - Hz M16-01-020

Total Deformation 3

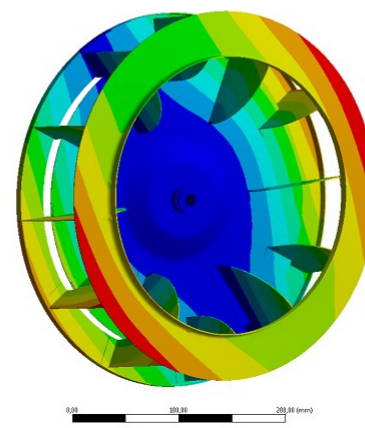
Type: Total Deformation

Frequency: 175,37 Hz

Unit: mm

26.4.2016 12:19

47,272 Max
42,618
36,747
31,514
26,062
21,451
15,757
10,595
5,3524
0 Min



D: Copy of Model - Hz M16-01-020

Total Deformation 4

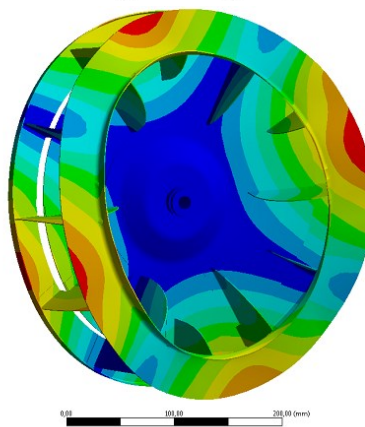
Type: Total Deformation

Frequency: 344,19 Hz

Unit: mm

26.4.2016 12:29

52,235 Max
46,471
40,627
34,824
29,02
23,228
17,402
11,599
5,7918
0 Min



D: Copy of Model - Hz M16-01-020

Total Deformation 5

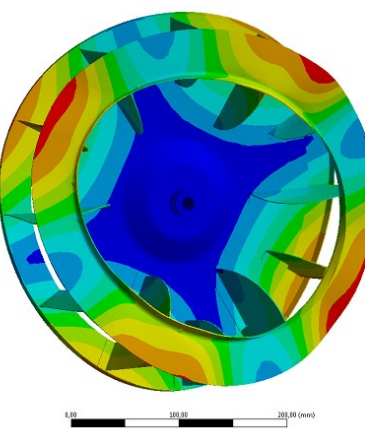
Type: Total Deformation

Frequency: 344,11 Hz

Unit: mm

26.4.2016 12:25

55,634 Max
49,897
44,16
38,423
32,686
26,949
21,211
15,474
9,7371
0 Min



Obr. 33 Další tvary rezonanci varianty II

6.5 Zhodnocení výsledků MKP

Deformační analýza

Z tabulky 4 můžeme vyčíst velikost deformací v čase za přibývající teploty a říká, že největší deformace je u všech ventilátorů v 780 sekundě při teplotě 300 °C a po spuštění programu mytí a kontaktu ventilátoru s chladnou vodou se teplota a deformace rapidně mění.

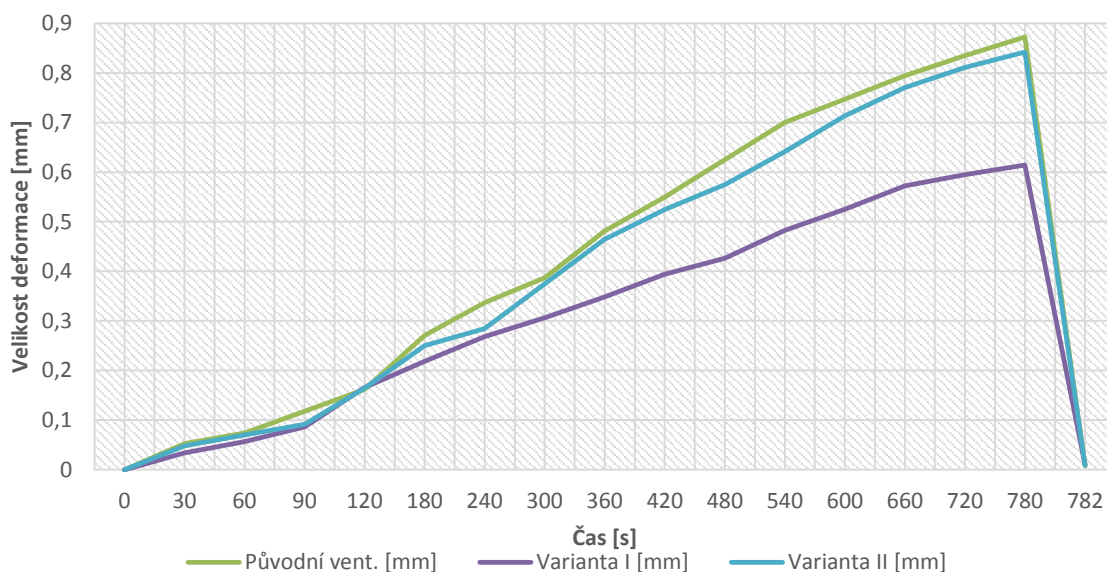
Původní ventilátor je označení ventilátoru, z kterého jsem vycházel. **Varianta I** a **Varianta II** odpovídají navrhnutým konstrukčním úpravám na Obr. 26 Konstrukční úprava a Obr. 30 Výztuha varianty II

Tabulka 4 Výsledky velikostí deformací ventilátorů naměřené v programu Ansys

Time [s]	Teplota [°C]	Původní vent. [mm]	Varianta I [mm]	Varianta II [mm]
1	25	0	0	0
30	38	0,0526	0,033721	0,048123
60	45	0,074249	0,056215	0,070323
90	59	0,11788	0,086215	0,09124
120	73	0,16163	0,16542	0,1641
180	108	0,27107	0,21853	0,25034
240	129	0,33682	0,26841	0,2841
300	130	0,38695	0,30655	0,37463
360	145	0,48095	0,34841	0,46423
420	175	0,54989	0,39412	0,52423
480	197	0,62509	0,42623	0,57453
540	221	0,7003	0,48262	0,64123
600	245	0,74731	0,52482	0,71383
660	265	0,79431	0,57256	0,77059
720	285	0,83505	0,5951	0,81112
780	300	0,87266	0,61405	0,84213
782	40	7,89E-03	9,81E-03	8,73E-03

Na grafu 1 jde vidět průběh deformace v čase. V počátečních krocích by se mohlo zdát, že výztuhy, nemají až takový význam, ale po 120 sekundě dochází u **varianty I** k poklesu deformací oproti **původnímu ventilátoru** a **variantě II**.

Velikost deformace ventilátorů



Graf 1 Velikost deformace ventilátoru v závislosti na čase vytvořeno z tabulky 4

Menší účinnost **varianty II** si vysvětluji, že přidáním materiálu jsem docílil větší tuhosti soustavy, ale zároveň jsem přidal větší prostor pro tepelné změny v prvcích, které se projeví deformacemi. Maximální deformace u **původního ventilátoru** činily 0.87 mm u **varianty II** 0.84 mm.

Varianta I je optimální řešení z toho důvodu, že **původní ventilátor** měl deformaci 0.87 mm **varianta I** dosáhla maximální deformace 0.61mm. Z toho mohu vyvodit závěr, že kruhová výztuž má pozitivní vliv na deformaci ventilátoru a zmenšila jej o 30%.

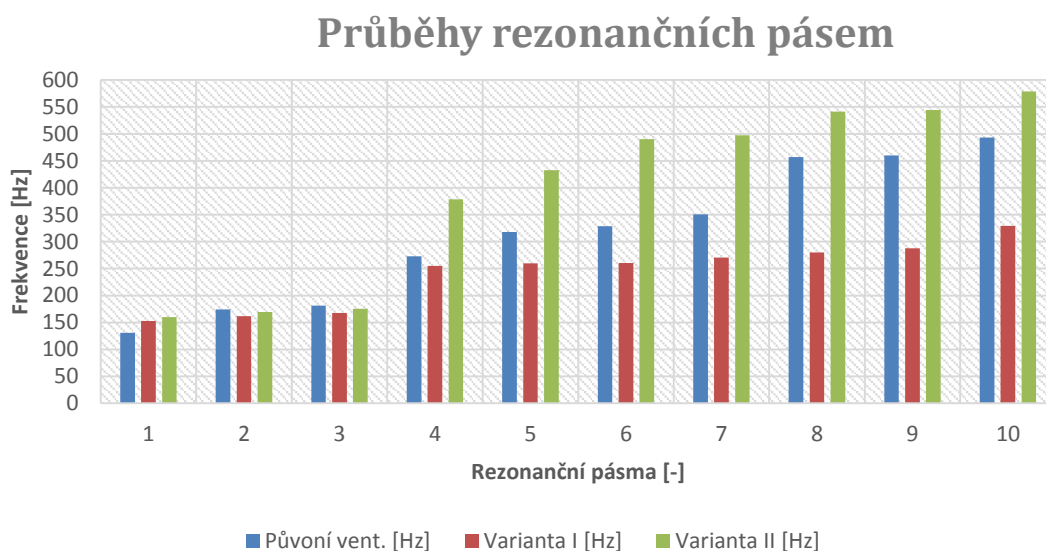
Modální analýza

Celkový přehled prvních 10 rezonančních pásem **původního ventilátoru**, **varianty I** a **varianty II** jsou umístěny v tabulce 5.

Tabulka 5 Výsledky prvních 10 rezonančních pásem z programu Ansys

Mode	Původní vent. [Hz]	Varianta I [Hz]	Varianta II [Hz]
1	130,75	152,83	160,09
2	174,13	161,53	169,51
3	181,58	167,72	175,27
4	272,93	254,9	378,35
5	318,16	259,86	432,66
6	328,82	260,56	490,23
7	350,65	270,12	497,31
8	457,09	280,08	541,19
9	459,71	287,81	544,61
10	493,06	329	579,04

Graf, který znázorňuje průběhy jednotlivých rezonančních pásem je seřazen do skupin.



Graf 2 Graf výskytu rezonančních pásem vytvořeno z tabulky 5

Požadavky na ventilátor jsou, aby se oblast rezonance nevyskytovala do 23.5 Hz. Mnou simulované ventilátory vyhovují všechny, nejnižší rezonanční oblast je na **původním ventilátoru** a to 130.75 Hz nejvyšší první rezonanční frekvenci má **varianta II** 160.09 Hz.

Z hlediska volby ventilátoru podle modální analýzy bych měl zvolit **variantu II**, protože má nejvýše položenou první frekvenční oblast 160.09 Hz, ale **varianta I** s hodnotou 152.83 Hz taktéž splňuje kritéria pro použití, jelikož se v dané oblasti nevyskytuje rezonanční pásmo do 23.5 Hz.

7 Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval optimalizací varného prostoru konvektomatu. Parametry zadání mi poskytla firma Retigo s.r.o.

V prvním kroku jsem popsal, co je to konvektomat a na jakých principech funguje. Dále jsem provedl rozbor ventilátorů na obecné úrovni, jelikož moji hlavní náplní byla optimalizace ventilátoru. V dalším bodu byl zpracován podrobný popis varného prostoru, abych si objasnil a udělal představu, v jakých podmínkách alokovaný ventilátor pracuje.

Problematikou jsem se zabýval, abych optimalizoval deformaci ventilátoru při skokových změnách teploty, které činní až 260°C. Nejdříve jsem podrobil výpočtům jeden z modelů ventilátorů firmy Retigo a zjistil jsem velikost deformace v závislosti na čase a teplotě. Další výpočet, kterému jsem ventilátor podrobil, byla modální analýza, která zkoumala kritická frekvenční pásma ventilátoru a výpočet sevření na kuželové ploše, aby byl ventilátor bezpečně upnut, a byla zaručena jeho bezproblémová demontáž.

Přínos mé diplomové práce spočívá v tom, že jsem navrhnul dvě optimalizované řešení: **varianta I** Obr. 26 Konstrukční úprava varianty I a **varianta II** Obr. 30 Výztuha varianty II, které jsem testoval. **Varianta I** dopadla lépe v deformační analýze při skokové změně teploty, protože se zdeformovala jen o 0.61mm což je o 30% méně, než **původní ventilátor**. V modální analýze jsem ověřil, že žádná z testovaných variant nezasahuje do rezonančního pásma ventilátoru, které je pod 23. 05 Hz. Ve výpočtu ukotvení ventilátoru na kuželové ploše jsem navrhnul minimální utahovací moment, aby nedošlo k samovolnému povolení a vypočetl kuželovitost, aby demontáž byla prováděna ručně bez použití stahováku.

Na základě výpočtů a simulací, které byly provedeny jsem se rozhodl pro použití ventilátoru **varianty I** Obr. 26 Konstrukční úprava varianty I, který má připravenou výrobní dokumentaci a může přejít do fáze výroby a dalšího testování.

8 Seznam použité literatury:

- [1] RETIGO s.r.o. *Konvektomaty* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: RETIGO, 2016 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.retigo.cz/Produkty/Konvektomaty/b-623-detail>
- [2] NOVÝ, Richard. *Ventilátory*, 2007. 3. vydání přepracované. Praha: České vysoké učení technické v Praze, ISBN 978-80-01-03758-4, 2007.
- [3] AMEREX-GASTRO. *Konvektomaty: Dodavatel profesionálního gastrozařízení* [online]. Praha: Amerex trade, 2016 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.amerex-gastro.com/index.php?content=article&id=186&group=174&lng=czech>
- [4] ISO-13348 *Industrial fans: Specification of technical data and verification of performance*. 2 dopl. vyd. 2007.
- [5] www.ebay.com [online]. 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/LAINOX-R75400440-350mm-12-LAME-ROUE-DE-VENTILATEUR-POUR-COMBINAISON-CONVENTION-/131594049165>
- [6] KALÁB, K. Části a mechanismy strojů pro bakaláře.: Části spojovací. dotisk 1. vydání. Ostrava: VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA 17.listopadu 15/2172 7008 33 Ostrava - Poruba, 2010. ISBN 978-80-248-12908.
- [7] [Http://www.google.ch/patents](http://www.google.ch/patents) [online]. 2001 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.google.ch/patents/US6188045#backward-citations>
- [8] LEINVEBER, J. P.Vávra. *Strojnické tabulky*: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření. druhé doplněné vydání. Úvaly: Albra – pedagogické nakladatelství, 2005. ISBN 80-7361-011-6.
- [9] KADRNOŽKA, Jaroslav. *Lopatkové stroje*. 1.vyd. Brno:CERM, 2003. 178 s. ISBN 80-7204-297-1
- [10] Hanning: Elektro-werke [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.hanning-hew.de/wEnglisch/produkte/index.shtml?navid=1>

9 Seznam použitých obrázků:

Obr. 1 Konvektomat Retigo velikosti 611 [1].....	11
Obr. 2 Velikostní řady kovenktomatů [1]	12
Obr. 3 Schéma radiálního ventilátoru [2].....	15
Obr. 4 axiální ventilátor [2].....	16
Obr. 5 Diametrální ventilátor [2].....	17
Obr. 6 Diametrální ventilátor [2].....	17
Obr. 7 Ventilátor s pohonem napřímo [2]	19
Obr. 8 Ventilátor s pohonem přes spojku [2]	19
Obr. 9 Ventilátor s pohonem přes řemen [2].....	19
Obr. 10 Schéma varného prostoru.....	21
Obr. 11 Vnitřní prostor konvektomatu	23
Obr. 12 Ukázka ventilátoru se zahnutými a přímými lopatkami [5].....	24
Obr. 13 Popis nástřikového systému [7]	26
Obr. 14 Vpichovací sonda.....	27
Obr. 15 Optimalizovaný ventilátor.....	29
Obr. 16 Řez ventilátoru	31
Obr. 17 Kuželový spoj [6].....	32
Obr. 18 Datasheet elektromotoru	34
Obr. 19 Způsob ukotvení [2].....	38
Obr. 20 Určení směru gravitační síly	40
Obr. 21 Umístění pevné vazby na ventilátoru.....	40
Obr. 22 Výsledek deformační analýzy	41
Obr. 23 Hustota nastavení sítě	43
Obr. 24 Tvar první rezonance	44
Obr. 25 Další tvary rezonancí	45
Obr. 26 Konstrukční úprava ventilátoru.....	46
Obr. 27 Model deformace varianta I	47
Obr. 28 Tvar první rezonance varianty I	47
Obr. 29 Další tvary rezonancí varianty I	48
Obr. 30 Výztuha varianty II	49
Obr. 31 Model deformace varianty II.....	49
Obr. 32 Tvar I rezonance varianty II.....	50
Obr. 33 Další tvary rezonancí varianty II.....	51

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Potřebné parametry závitu M10	36
Tabulka 2 Určení tření v závitech [6].....	38
Tabulka 3 Vlastnosti nerezové oceli 1.4301[8].....	42
Tabulka 4 Výsledky velikostí deformací ventilátorů naměřené v programu Ansys	52
Tabulka 5 Výsledky prvních 10 rezonančních pásem z programu Ansys	54

11 Seznam grafů:

Graf 1 Velikost deformace ventilátoru v závislosti na čase	53
Graf 2 Graf výskytu rezonančních pásem	54

12 Seznam příloh:

- A) Výkresová dokumentace
- B) CD s výkresovou dokumentací a použitým materiálem